

Kansallinen säteilyturvallisuuustutkimuksen ohjelma

National Programme for Radiation Safety Research

S. Salomaa, M. Muikku, K. Peräjärvi, T. Siiskonen

Säteilyturvakeskus / Strålsäkerhetscentralen / Radiation and Nuclear Safety Authority

ISBN 978-952-309-272-3 (pdf)
ISSN 2243-1888

Sisällys

Tiivistelmä.....	1
Abstract	2
1 Miksi säteilyturvallisuuden tutkimusta tarvitaan?.....	3
2 Kansallinen ohjelma – tutkimustarpeet	5
2.1 Säteily ja terveys – tutkimustarpeet	6
2.1.1 Terveysriskien arviointi	6
2.1.2 Sähkömagneettisten kenttien vaikutukset	7
2.1.3 Säteilyn käyttö lääketieteessä.....	8
2.2 Säteily ympäristössä – tutkimustarpeet.....	11
2.2.1 Luonnonsäteilystä aiheutuvan altistuksen pienentäminen	12
2.2.2 Radionuklidien esiintyminen ja käyttäytyminen ympäristössä	12
2.2.3 Ympäristön säteilysuojelu	13
2.2.4 Tutkimus-, mittaus- ja analysointimenetelmät.....	13
2.3 Valmius ja turvajärjestelyt – tutkimustarpeet.....	14
2.3.1 Uhkakuvien analysointi ja uhkien ennalta ehkäiseminen.....	15
2.3.2 Mittaukset ja teknologiat	15
2.3.3 Riskien hallinta ja vaste	17
2.4 Muut tutkimustarpeet.....	18
3 Kansallisen säteilyturvallisuustutkimuksen järjestelyt	19
4 Säteilyturvakeskuksen ja yliopistojen roolit ja profiloituminen	21
4.1 Säteilyturvakeskuksen rooli ja profiloituminen	21
4.2 Yliopistojen rooli ja profiloituminen.....	22
5 Säteilyturvallisuustutkimuksen rahoitus	28
6 Tiekartta STUKin ja yliopistojen/korkeakoulujen välisen yhteistyön syventämiseksi	29
LIITE 1: Kansallisen säteilyturvallisuustutkimuksen ohjelman valmistelijat ja yliopistojen yhteyshenkilöt.....	31

S. Salomaa, M. Muikku, K. Peräjärvi, T. Siiskonen 30.6.2015

Tiivistelmä

Vuoden 2013 tutkimuslaitosuudistuksen myötä kansallista työnjakoa säteilyturvallisuuden tutkimuksessa on nyt tarkasteltu uudelleen. Suomeen perustetaan yliopistojen, korkeakoulujen ja STUKin välinen tutkimusyhteenliittymä. Yhteenliittymän työn pohjaksi on laadittu säteilyturvallisuuden tutkimusohjelma, jonka tavoitteena on kuvata tutkimustarpeet ja varmistaa korkeatasoinen kansallinen osaaminen ja tietopohja säteilyturvallisuudessa ja turvata kansallisten viranomaisten tiedon saanti.

Säteilyturvallisuus kattaa sekä ionisoivan säteilyn että ionisoimattoman säteilyn. Keskeisiä tiedon tarpeita liittyy seuraaviin aiheisiin:

- Säteily ja terveys: säteilyn terveyshaitat ja vaikutusmekanismit, lääketieteellinen säteilyn käyttö, potilasturvallisuus ja turvalliset hoito- ja diagnostiikkakäytännöt, työntekijöiden turvallisuus, riskitietoisuus ja -käyttäytyminen
- Säteily ympäristössä: radonturvallinen rakentaminen, radioaktiivisten aineiden kulkeminen ympäristössä, elintarvikkeiden pitoisuudet ja niiden kautta tapahtuva altistuminen, vaikutukset eliökuntaan; kansalliset erityispiirteet
- Säteilyuhkiin ja onnettomuuksiin varautuminen: onnettomuusvalmius ja turvajärjestelyt
- Mittaukset ja teknologiat säteilyturvallisuudessa: metrologiaan ja dosimetriaan liittyvät innovaatiot, säteily- ja ydinturvallisuutta palvelevat sovellukset, ohjelmistot ja laitteet.

Säteilyturvallisuus kattaa laajan kirjon tieteenaloja, aina säteily- ja ydinfysiikasta biolääketieteisiin, ympäristötieteisiin, tekniikkaan ja yhteiskunta- ja käyttäytymistieteisiin. Kotimaisista yliopistoista löytyy vahvaa tieteenalojen osaamista, ja tämä osaaminen saatetaan entistä paremmin mukaan yhteiskunnan tarpeista lähtevään säteilyturvallisuuden tutkimukseen. STUK suuntaa oman tutkimus- ja kehittämistoimintansa suoraan valvontaa ja valmiutta sekä turvajärjestelyjä tukeviin aiheisiin ja selvityksiin. Yliopistojen panosta tarvitaan erityisesti laajoissa hankkeissa ja perustutkimusta ja soveltavaa tutkimusta edellyttävissä aiheissa, jotka liittyvät riskinarviointiin, teknologiseen kehittämiseen ja riskien hallintaan. STUK on ollut keskeisesti mukana luomassa eurooppalaisia tutkimusagendoja ja tutkimuksen yhteenliittymiä Euratom-ohjelmassa. Tavoitteena on liittää kansallinen säteilyturvallisuuden ohjelma eurooppalaiseen säteilyturvallisuusalan ohjelmiin.

Säteilyturvallisuustutkimuksen uudelleen järjestely edellyttää ohjelmaluonteista rahoitusta, jolla pystytään turvaamaan pitkäjänteinen osaamisen ylläpito ja kehittäminen monitieteisellä, koko yhteiskuntaa palvelevalla tutkimussaralla. STUK on aiemmin melko ketterästi pystynyt vastaamaan muiden viranomaisten ja hallinnonalojen säteilyturvallisuutta koskeviin kansallisiin kehittämistarpeisiin sekä antamaan asiantuntijatukea kansainvälisellä tasolla. Jatkossa rahoitusta yhteiskunnan kannalta merkittäviin tietotarpeisiin tulee osoittaa joko ministeriöiden oman tutkimusrahoituksen tai tutkimuslaitosuudistuksen yhteydessä perustettujen uusien rahoitusvälineiden, Valtioneuvoston kanslian selvitys- ja tutkimustoiminnan ja Suomen Akatemian strategisen tutkimuksen neuvoston kautta. Kansallisen säteilyturvallisuustutkimuksen ohjelman linkittäminen H2020-ohjelmaan ja kansainvälisistä tutkimusresursseista hyötyminen edellyttää kansallista vastinrahoitusta EU-tutkimuksessa.

S. Salomaa, M. Muikku, K. Peräjärvi, T. Siiskonen 30.6.2015

Abstract

After the Government Resolution on the Comprehensive Reform of State Research Institutes and Research Funding in 2013, the roles of national actors in radiation safety research have now been reconsidered. The co-operation between STUK and universities will be strengthened by forming a National Research Consortium on Radiation Safety Research. A National Radiation Safety Research Programme has been created in order to describe the research needs and to ensure a high level national competence in radiation safety research and to fulfill the information needs of national authorities.

Radiation safety encompasses both ionising and non-ionising radiation. Essential needs for knowledge are centered around the following topics:

- Radiation and health: health effects and mechanisms of action of radiation, medical use of radiation, patient safety and safe diagnostic and treatment procedures, occupational safety, risk awareness and risk perception
- Radiation in the environment: radon safe construction, transfer of radioactive substances in the environment, radioactivity in foodstuffs and exposure via ingestion, impact of radiation on on biota, special national characteristics
- Preparedness for radiation and nuclear threats and accidents: emergency preparedness and response as well as security aspects
- Measurements and technologies in radiation safety: innovations in metrology and dosimetry, as well as applications, software and equipment supporting the functions of radiation and nuclear safety and security

Radiation safety covers a variety of scientific disciplines, ranging from radiation and nuclear physics to biomedicine, environmental sciences and social sciences and humanities. The national universities provide a strong foundation of basic disciplines. This competence will be integrated with the societal challenges of radiation safety research. STUK will focus its own research in topics and development directly serving the supervisory functions, security and emergency preparedness. Universities play an important role in multidisciplinary projects and topics addressing basic and applied research related to risk assessment, technological development and risk management. STUK has played a central role in the creation of European Strategic Research Agendas and research platforms in the Euratom research and training program. Our aim is to link the national radiation safety program with the European joint program addressing radiation protection research.

The reorganisation of radiation safety research calls for programmatic funding ensuring the long-term maintenance and development of competence in the multidisciplinary research area serving the needs of the whole society. Previously, STUK has been able to rapidly respond to the developmental needs of various government sectors and national authorities and to provide expert support on radiation safety and security issues at international level. In the longer run, funding for such societal information needs should be directed either via the ministerial research budgets or the new funding instruments established in connection of the reform of the national research and innovation system (R&D funding by Prime Minister's Office and Strategic Research Council of Academy of Finland). Linking the national radiation safety program with the H2020 program, thus creating synergies at international level, calls for national co-funding for the EU research.

S. Salomaa, M. Muikku, K. Peräjärvi, T. Siiskonen 30.6.2015

1 Miksi säteilyturvallisuuden tutkimusta tarvitaan?

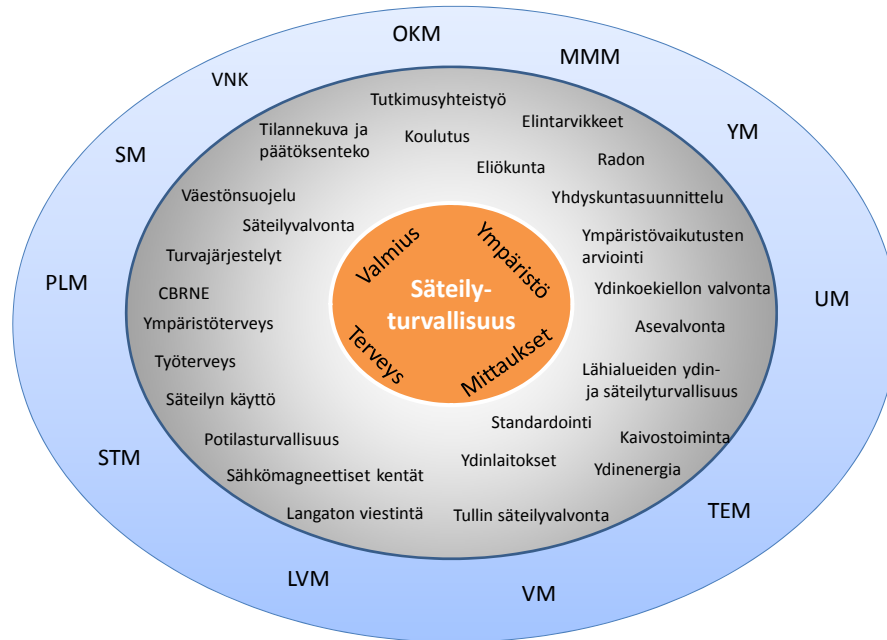
Säteilyturvallisuuden tavoitteena on ihmisten, yhteiskunnan, ympäristön ja tulevien sukupolvien suojeleminen säteilyn vahingollisilta vaikutuksilta. Tämän tavoitteen saavuttaminen edellyttää ajantasaista tietoa säteilystä ja sille altistumisesta sekä säteilyn riskeistä ja niistä keinoista, joilla näitä riskejä voidaan hallita siten, että yhteiskunnan toimintoja ei tarpeettomasti rajoiteta.

Säteilyturvallisuus koskee tavalla tai toisella kaikkia hallinnonaloja (kuva 1). Kansainväliset säteilysuojelusuositukset (ICRP, ICNIRP) perustuvat tieteelliseen tietoon säteilystä ja sen vaikutuksista sekä yhteiskunnallisiin arvoihin (oikeutus, optimointi, yksilönsuoja). Nämä suositukset toimivat pohjana kansainvälisille ja eurooppalaisille turvallisuusstandardeille ja kansalliselle lainsäädännölle. Myös ydinturvallisuuden perustavoitteena on säteilyaltistuksen ehkäiseminen ja vähentäminen. Turvallisuusstandardeja päivitetään sitä mukaa kuin uutta tieteellistä tietoa säteilystä ja sen vaikutuksista kertyy tai kun yhteiskunnallisten arvojen muutos ajan saatossa antaa siihen tarvetta. Tutkimusta ja kehittämistyötä tarvitaan myös lainsäädännön toimeenpanon ja käytännön säteilyturvallisuuksien tueksi monilla yhteiskunnan eri aloilla. Uusitun eurooppalaisen säteilyturvallisuuksidirektiivin lainsäädännöllinen voimaannpano tulee edellyttämään kansallisia selvityksiä ja tutkimus- ja kehittämistyötä Suomessa ja muissa EU-maissa.

Säteilyturvallisuus kattaa sekä ionisoivan säteilyn että ionisoimattoman säteilyn. Keskeisiä tiedon tarpeita liittyy seuraaviin aiheisiin:

- Säteily ja terveys: säteilyn terveyshaitat ja vaikutusmekanismit, lääketieteellinen säteilyn käyttö, potilasturvallisuus ja turvalliset hoito- ja diagnostiikkakäytännöt, työnteekijöiden turvallisuus, riskitietoisuus ja -käyttäytyminen
- Säteily ympäristössä: radonturvallinen rakentaminen, radioaktiivisten aineiden kulkeutuminen ympäristössä, elintarvikkeiden pitoisuudet ja niiden kautta tapahtuva altistuminen, vaikutukset eliökuntaan; kansalliset erityispiirteet
- Säteilyuhkiin ja onnettomuuksiin varautuminen: onnettomuusvalmius ja turvajärjestelyt
- Mittaukset ja teknologiat säteilyturvallisuudessa: metrologiaan ja dosimetriaan liittyvät innovaatiot, säteily- ja ydinturvallisuutta palvelevat sovellukset, ohjelmistot ja laitteet.

S. Salomaa, M. Muikku, K. Peräjärvi, T. Siiskonen 30.6.2015



Kuva 1. Säteilyturvallisuus koskettaa kaikkia hallinnonaloja Suomessa. (CBRNE = chemical, biological, radiological, nuclear, explosives).

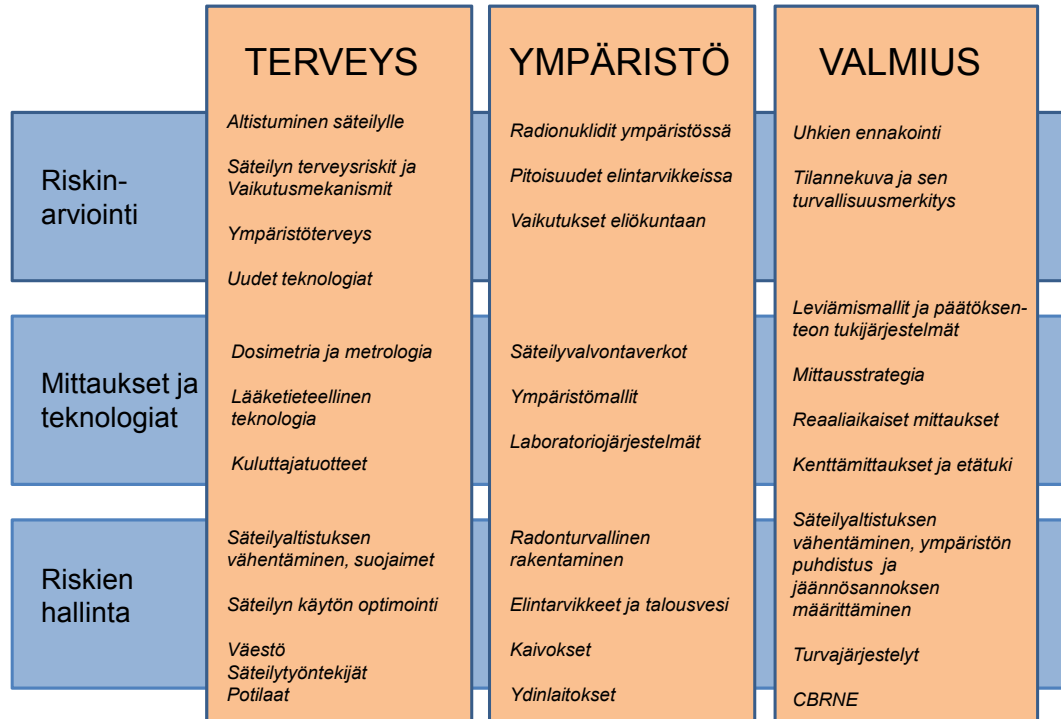
Säteilyturvallisuuden tutkimus tuottaa tietoa ja välineitä yhteiskunnan eri sektoreiden ja yksittäisten kansalaisten turvallisuuden parantamiseksi. Tutkimusalue kattaa perustutkimuksen, soveltavan tutkimuksen ja teknisen kehittämistyön. Tutkimuksen yhteiskunnallinen vaikuttavuus välittyy toisaalta oikeatasaisten ja oikea-aikaisten viranomaisvaatimusten ja riskitietoisuuden ja toisaalta tutkittuun tietoon perustuvan riskiviestinnän ja teknologisten ja sosiaalisten innovaatioiden kautta. Yliopistojen, sairaaloiden, muiden tutkimuslaitosten ja sidosryhmien osallistuminen säteilyturvallisuustutkimukseen hyödyttää myös suoraan säteilyn käytössä työskenteleviä ammattikuntaa kehittämällä tietotaitoa ja tuomalla käyttöön uusia sovelluksia. Tutkimuksella luotua osaamista hyödynnetään viranomaisten toiminnassa ohjeiden, suositusten ja säännösten valmistelussa, valvonnan kohdistamisessa ja hyvien valvontakäytäntöjen ja luotettavien valvontamenetelmien luomisessa. Tutkittuun tietoon perustuva riskiviestintä ja erilaiset turvallisuutta parantavat käytännöt ja innovaatiot edistävät riskienhallintaa ja antavat luotettavan pohjan yhteiskunnan kokonaisedun puntarointiin säteilyn käytössä, uusien teknologioiden riskien arvioinnissa ja ydinlaitoksia koskevassa päätöksenteossa. Säteilyn havaitsemiseen ja mittaamiseen liittyviä teknologisia innovaatioita voidaan hyödyntää monilla säteily- ja ydinturvallisuuden alueilla ja vastaavasti muiden teknologia-alojen innovaatioita (esim. sosiaalinen media) voidaan yhdistää turvallisuussektorin innovaatioihin.

S. Salomaa, M. Muikku, K. Peräjärvi, T. Siiskonen 30.6.2015

2 Kansallinen ohjelma – tutkimustarpeet

Säteilyturvallisuustutkimuksen keskeiset aihealueet liittyvät terveydensuojeluun, ympäristönsuojeluun sekä säteilyuhkiin ja – onnettomuuksiin varautumiseen (kuva 2). Näihin kaikkiin liittyy poikkileikkaavina teemoina riskinarviointiin, riskinhallintaan ja mittaus-ten ja teknologioiden kehittämiseen liittyviä tutkimus- ja kehittämistarpeita.

Ohjelma ottaa huomioon erityisesti kansalliset tarpeet ja erityispiirteet. Kansallisen ohjelman päälinjat ovat kuitenkin yhteneväisiä alan eurooppalaisten tutkimusagendojen kanssa. Tämä edistää kansallisen tutkimuksen integrointia kansainväliseen tutkimukseen ja EU:n rahoitusinstrumenttien hyödyntämistä. Eurooppalaiset alan tutkimusyh-teisöt ovat viime vuosina järjestäytyneet yhteenliittymiksi, jotka laativat ja päivittävät strategisen tutkimuksen agendoja sekä koordinoivat tutkimusta, infrastruktuureja ja ai-hekohtaista tutkijakoulutusta. Terveiden tutkimuksen alalla keskeinen toimija on ME-LODI (Multidisciplinary European Low Dose Initiative), ympäristötutkimuksessa AL-LIANCE (European Radioecology Alliance), ydinonnettomuuksiin ja säteilyyn liittyviin lainvastaisiin tekoihin varautumisessa NERIS (European Platform on Preparedness for Nuclear and Radiological Emergency Response and Recovery) ja dosimetriassa EURA-DOS (European Dosimetry Group). Euratomin säteilysuojeluohjelman tutkimushaut poh-jautuvat pitkälti näiden yhteenliittymien laatimille tutkimusagendoille. Eurooppalaisena yhteistyönä kartoitetaan parhaillaan myös lääketieteellisen säteilyn käyttöön ja yhteis-kuntatieteisiin liittyviä tutkimustarpeita. Metrologian tutkimusohjelma (EURAMET) on osaltaan laatinut tutkimuksen tiekarttoja, jotka edistävät mittauksiin ja teknologioiden kehittämiseen liittyvää tutkimusta. EU:n Security-ohjelmassa keskeinen säteilyturvalli-suusalan tutkimusta ohjaava väline on CBRN Action Plan.



Kuva 2. Säteilyturvallisuuustutkimuksen aihealueet.

2.1 Säteily ja terveys – tutkimustarpeet

2.1.1 Terveysriskien arviointi

Yhteiseurooppalainen säteilyn terveysriskien tutkimusyhteenliittymä MELODI (Multidisciplinary European Low Dose Initiative) on laatinut alalle strategisen tutkimusohjelman. Tutkimusohjelman tavoitteena on tuottaa uutta tietoa ionisoivan säteilyn pitkäaikaisvaikutuksista, arvioida nykyisten altistumisrajojen biologisia perusteita ja luoda pohjaa uusille säteilysuojelukäytännöille. Erityisesti pienten säteilyannosten vaikutuksiin liittyy edelleen paljon epävarmuutta ja tällä alueella on useita avoimia tieteellisiä kysymyksiä. Käytännössä kaikki ihmiset altistuvat pienille määrille ionisoivaa säteilyä, joka on peräisin ympäristöstä, säteilyn lääketieteellisestä käytöstä tai ammatillisesta altistumisesta. Jotta pienten annosten riskejä pystyttäisiin paremmin arvioimaan, tarvitaan lisää tietoa säteilyn biologisista vaikutusmekanismeista. Biotieteissä tapahtunut nopea kehitys ja tieteelliset läpimurrot antavat uudenlaisia mahdollisuuksia säteilyn vaikutusmekanismien tutkimukseen. Säteilysuojelujärjestelmän kannalta keskeiset kysymykset liittyvät syöpäriskin annosvasteeseen ja annosnopeuden vaikutukseen, yksilölliseen herkkyyteen ja muiden sairauksien kuin syövän riskiin (kaihi, sydän- ja verisuonisairaudet, neurologiset/kognitiiviset vaikutukset). Lisää tietoa tarvitaan myös eri säteilylajien ja sisäisen altistumisen vaikutuksista sekä eri kudosten säteilyherkkyydestä. Tietoa tarvitaan siitä,

S. Salomaa, M. Muikku, K. Peräjärvi, T. Siiskonen 30.6.2015

miten säteily vaikuttaa terveyshaittojen syntyprosessissa (adverse outcome pathways). Perinteisten väestötutkimusten ohella systeemibiologia ja molekyyli-epidemiologia tarjoavat uusia mahdollisuuksia säteilyn terveysriskien arvioinnissa.

Jatkuvasti lisääntyvä tieto säteilyn vuorovaikutusten ja biologisen vaikutusmekanismin yhteydestä on herättänyt kysymyksen nykyisten annossuureiden soveltuvuudesta biologisten haittojen arviointiin. Useat kansainväliset tutkimusyhteenliittymät ovat identifioineet mikro- ja nanotason dosimetrian ja suuretarkastelut yhdeksi keskeiseksi tutkimusta vaativaksi alueeksi. Riskinarvioinnin kannalta tutkimusta tarvitaan, vaikutusmekanismien selvittämisen lisäksi, soveltuvista mittausten menetelmistä ja uusien dosimetristen suureiden kehittämiseksi.

Genomin epävakaisuuden tutkimus on noussut tärkeäksi alueeksi ionisoivan (genotoksinen altiste) ja ionisoimattoman (ei-genotoksinen altiste) säteilyn osalta viime vuosina. Genomin epävakaisuus tarkoittaa myöhäisvaikutuksia ja mutaatiotaajuuden nousua altistettujen solujen tai eläinten altistumattomissa jälkeläisissä useita sukupolvia altistuksen tapahtumisen jälkeen. Indusoitu genomin epävakaisuus liittyy ympäristöperäisten syöpien syntyyn niin säteilyn kuin monien muidenkin ympäristötekijöiden osalta. Tutkimusta tarvitaan ionisoimattoman säteilyn ja indusoidun genomin epävakaisuuden yhteyden ja mekanismin selvittämiseksi.

2.1.2 Sähkömagneettisten kenttien vaikutukset

Altistuminen radiotaajuisille sähkömagneettisille kentille on lisääntynyt merkittävästi matkapuhelinteknologian käyttöönoton myötä. Kehon lähellä pidettävät radiolaitteet altistavat enemmän kuin mitkään aiemmin laajamittaisessa käytössä olleet tekniikat. Langattoman tekniikan terveysvaikutuksia on tutkittu aktiivisesti -90-luvulta lähtien. Haitallisista terveysvaikutuksista ei ole pystytty osoittamaan kansainvälisten suositusten raja-arvoja alemmilla tasoilla. Matkapuhelinten käyttöä koskevaan tutkimustietoon sisältyy kuitenkin edelleen epävarmuuksia. Epidemiologisissa tutkimuksissa on saatu vahvistamattomia viitteitä tiettyjen aivokasvaintyyppien yhteydestä pitkäaikaiseen matkapuhelimen käyttöön. Näiden tutkimusten keskeinen heikkous on ollut altistuksen arviointi kyselyjen ja haastattelujen avulla ilman objektiivista tietolähdettä, kuten operaattoreiden asiakastietoja. Kokeellisissa tutkimuksissa ei myöskään ole havaittu syöpää aiheuttavia vaikutuksia eläimillä, eikä sellaisille vaikutuksille tunneta mekanismeja. Myös pientaajuisia magneettikenttiä koskevassa tutkimustiedossa on edelleen aukkoja. 1970-luvulta lähtien tutkimuksissa on toistuvasti raportoitu havaintoja, joiden mukaan voimajohdon lähellä asumisella saattaa olla yhteys lasten kohonneeseen riskiin sairastua leukemiaan. Kokeellisten tutkimusten tulokset ovat kuitenkin ristiriitaisia, eikä tunneta mekanismeja joka selittäisi epidemiologiset havainnot. Kansainvälinen syöväntutkimuslaitos IARC on luokitellut näiden viitteiden perusteella sekä pientaajuiset magneettikentät että radiotaajuisen säteilyn mahdollisesti syöpää aiheuttavaksi (2B).

Tutkimusohjelman tavoitteena on saada uutta tietoa sähkömagneettisten kenttien pitkäaikaisvaikutuksista. Lisää tietoa tarvitaan erityisesti matkapuhelinten radiotaajuisien kenttien ja sähkönsiirron aiheuttamien matalataajuisien magneettikenttien terveysvaikutuksista. Lisäksi tutkimus tulisi laajentaa myös välitaajuuksiin. Tältä alueelta on hyvin vähän tutkimustuloksia vaikka sovelluksia on yleisessä käytössä (mm. induktioliedet ja metallinpaljastimet). Myös altistumisen määrittämisen alueella on turvallisuuden kan-

S. Salomaa, M. Muikku, K. Peräjärvi, T. Siiskonen 30.6.2015

nalta merkittäviä tutkimusongelmia, koska käyttösovellukset kehittyvät nopeasti. Tutkimuksen tulokset luovat pohjaa altistumisrajojen päivitykselle ja uusien teknologioiden käyttöönottoon liittyvälle standardoinnille.

Sähkömagneettisiin kenttiin liittyvät tutkimustarpeet on kuvattu tarkemmin sosiaali- ja terveysalan asiantuntijalaitosten yhteenliittymän (SOTERKO) laatimassa kansallisessa strategiassa vuosille 2013–2016.

2.1.3 Säteilyn käyttö lääketieteessä

Säteilyn käyttö lääketieteessä on ICRP:n mukaan itsestään selvästi oikeutettua. Säteilyä on usein kuitenkin kuvattu kaksiteräiseksi miekaksi: sitä voidaan hyödyntää sairauksien diagnosoinnissa ja hoitamisessa, mutta säteilyyn sisältyy myös riskejä. Säteilyn käytön optimointi terveydenhuollossa on yksi säteilyturvallisuustutkimuksen keskeisiä alueita. Kuvantamiseen ja sädehoitoon on tullut laaja kirjo uusia teknologioita ja tätä kehitystä tulee seurata myös säteilyturvallisuuden näkökulmasta sekä oikeutuksen että optimoinnin näkökulmasta. Väestön ikääntyessä syöpätaudit yleistyvät ja sädehoidon käyttö kasvaa. Hyvien hoitotulosten ansiosta entistä useampi paranee syövästä – kuitenkin samalla kasvaa mahdollisuus saada hoidon seurauksena pitkäaikaisvaikutuksia (syöpä, sydän- ja verisuonisairaudet). Sädehoidon optimointia edistävä tutkimustyö on tarpeen resurssien turvaamiseksi kasvavien potilasmäärien tarpeisiin. Sädehoidon tutkimus edellyttää sädebiologisia laboratoriopalveluja, joita nykyään Suomessa ei ole saatavilla.

Yliopistojen rinnalla yliopistosairaalat muodostavat merkittävän tutkimusresurssin lääketieteellisen säteilyn tutkimuksessa. Erikoislaitteet, potilasmateriaali ja erikoiskoulutuksen saaneet asiantuntijat, kuten sairaalafyysikot, radiologit ja syöpälääkärit ovat oleellinen osa ja mahdollisuus alan tutkimuksen tekemisessä.

Isotooppilääketiede

Tutkimusta tarvitaan, jotta radioaktiivisten lääkkeiden annostelussa voidaan huomioida potilaan yksilölliset ominaisuudet nykyistä paremmin. Annossuunnittelu, dosimetria ja kuvanlaatuarkastelut muodostavat kokonaisuuden, jonka kokonaisvaltainen hallitseminen on välttämätöntä potilaan turvallisuuden ja optimoidun säteilyn käytön varmistamiseksi. Myös potilaalle annettavan radioaktiivisen lääkkeen mittaaminen, mittalaitteiden kalibrointi ja standardointi ovat alueita, joilla vaaditaan lisää kehitystä, jotta optimaalinen radioaktiivisten lääkkeiden käyttö pystytään varmistamaan.

Radioaktiivisten lääkkeidenkäyttö kuvantamisessa ja hoidoissa perustuu toisaalta läpikuntavan säteilyn käyttöön, jolloin radioaktiivisen aineen jakauma potilaassa pystytään mittaamaan kehon ulkopuolisilla ilmaisimilla (kuvantaminen) tai lyhytkantamaisen säteilyn käyttöön, jolloin säteilyenergia absorboituu tehokkaasti kohteena olevaan elimeen tai (syöpä)kudokseen (hoitovaikutus). Isotooppilääketieteen kuvantamis- ja hoitokäyttöön tuodaan jatkuvasti uusia radioaktiivisia lääkkeitä. Lisäksi yhdistelmäkuvaus tietokonetomografian kanssa on parantanut diagnostiikkaa, mutta samalla kasvattanut potilasaltistusta merkittävästi.

Useat isotooppilääketieteen käytössä olevat nuklidit lähettävät säteilyä, jonka kantama voi olla vain muutama solun halkaisija. Syöpäsolujen jakauma kudoksessa ei ole välttämättä tasainen. Toisaalta, myös radioaktiivisen lääkkeen jakauma kohdekudoksessa voi

S. Salomaa, M. Muikku, K. Peräjärvi, T. Siiskonen 30.6.2015

olla hyvin epähomogeeninen. Lyhytkantamaisen säteilyn tapauksessa tuloksena oleva annosjakauma kohteena olevissa tuumorisoluihin saattaa olla niin epätasainen, että hoidon onnistuminen on epävarmaa. Tutkimusta ja laskentatyökalujen kehitystä tarvitaan, jotta solutason dosimetria saadaan hallintaan sekä kliinisessä käytössä että testauksen alla oleville radioaktiivisille lääkkeille.

Ulkoisen sädehoito

Sädehoidon laite- ja laskentamenetelmien kehitys on johtanut tilanteeseen, jossa potilaaseen kohdistetaan kooltaan ja intensiteetiltään vaihtelevia useista suunnista tulevia säteilykeiloja. Perinteisten foton- ja elektronisädehoitojen rinnalla protoni- ja raskasioneihoitojen suosio on maailmalla voimakkaassa kasvussa. Uusilla menetelmillä pyritään kohdistamaan säteily entistä tarkemmin kohteena olevaan syöpäkudokseen, ja samaan aikaan säästämään ympäröiviä terveitä kudoksia mahdollisimman hyvin.

Uudet menetelmät haastavat perinteiset mittaussädehoitojen menetelmät, joilla säteilykeilojen ominaisuudet ja potilaan hoitosuunnitelma varmistetaan. Pienikokoiset säteilykeilat, useiden säteilylaatuojen samanaikainen käyttö ja hiukkassäteilyn käyttö vaativat uutta lähestymistapaa koko mittaussädehoitoon. Uudentyyppiset ilmaisimet vaativat kalibrointi- ja laadunvarmistusmenetelmien kehittämistä. Monimutkaisten hoitosuunnitelmien varmistaminen edellyttää mittauksia nykyistä realistisemmissa ihmismalleissa (fantomeissa). Myös laskentamenetelmiä tulee kehittää mittausten rinnalla. Protoni- ja raskasioneidosimetriassa merkittäviä epävarmuustekijöitä liittyy toisaalta fysikaaliseen perustaan, johon kaivataan lisää hyvälaatuisia kokeellisia tuloksia, ja toisaalta kyseisten hiukkasten biologiseen tehokkuuteen syöpäsolujen tuhoamisessa.

Vaikka robottivälineiden sädehoidon fysikaalinen toiminta on vakuuttavaa, hoitojen todellinen biologinen vaikuttavuus on edelleen selvittämättä. Alustavien tulosten mukaan hoitojen biologinen efekti on merkittävästi pienempi kuin nykyisillä kliinisillä laskentamalleilla suunniteltu annos. Tämä voi huonontaa annetun sädehoidon tehoa ja vaarantaa tuumorikontrollin. Toinen moderni sädehoitoon liittyvä biologinen ongelma on se, että vaikka suuri sädeannos voidaan rajoittaa tarkasti kohdekudoksen alueelle, pienen annoksen tilavuus potilaassa kasvaa verrattuna perinteisiin hoitoihin. Tämä voi lisätä sekundaarisyyövän riskiä. Tästä syystä tarvitaan säteilybiologinen malli, jolla voidaan ennustaa tarkkuussädehoidon hoitotehoa ja haittavaikutuksia. Teoreettisen taustan tälle työlle antavat modernin säteilybiologian havaitsemat uudet ilmiöt (mm. genomin epävakaisuus, naapurisoluväikutus, adaptiivinen vaste).

Tutkimusta tarvitaan myös pientaajuisten magneettikenttien ja ionisoivan säteilyn yhteisvaikutuksesta. On mahdollista, että pientaajuisilla magneettikentillä tuumorisolujen säteilyvaurion korjausmekanismi heikkenevät, jolloin tuumorisolut saadaan tuhottua pienemmillä säteilyannoksilla. Tällöin sädehoidon haittavaikutuksia saataisiin pienennettyä huomattavasti pienentämättä tuumorikontrollin todennäköisyyttä.

Yksilöllinen herkkyys ionisoivan säteilyn vaikutuksille saattaa vaikuttaa sekä tuumorikontrolliin että toisaalta ympäröivien terveiden kudosten todennäköisyyteen saada hoidosta haittavaikutuksia. Tutkimusta tarvitaan sekä herkkyysvaihtelujen mekanismin selvittämiseen että herkkyden huomioimiseksi hoitosuunnitelmissa.

S. Salomaa, M. Muikku, K. Peräjärvi, T. Siiskonen 30.6.2015

Röntgendiagnostiikka

Tällä hetkellä tietokonetomografia (TT) tuottaa yli 50 % altistuksesta, joka on peräisin säteilyn diagnostisesta lääketieteellisestä käytöstä. Laitetekniikan ja kuvan rekonstruktio menetelmien nopea kehitys on lisännyt TT:n suosiota maailmanlaajuisesti, myös Suomessa. Rinnan laitekehityksen kanssa onneksi myös säteilyaltistuksen optimointiin on kiinnitetty huomiota, jotta kollektiiviannos ei ole kasvanut käsi kädessä tutkimusmäärien mukana. Annosta säästävien rekonstruktioalgoritmien kehittäminen on yksi tämän hetken keskeisistä tietokonetomografian tutkimus- ja kehityskohteista.

Keskeisiä tutkimuksellisia aiheita liittyy mm. lapsipotilaiden annosmäärityksiin. Avoin kysymys on esimerkiksi se, kuinka potilaan koko huomioidaan annostarkasteluissa. Tällä hetkellä TT-laitteiden annosnäyttö ei huomioi potilaan todellisia ominaisuuksia, ja esimerkiksi lapsipotilailla laitteen raportoima annos saattaa poiketa merkittävästi todellisesta potilaan annoksesta.

Laskennallisten menetelmien kehitys on johtanut pisteeseen, jossa potilaskohtaisten, potilaan todelliseen anatomiaan pohjautuvien, annosarvioiden tekeminen on mahdollista. Toisaalta, laskennalliset menetelmät mahdollistavat optimointitarkastelut ilman, että potilaita altistetaan. Tutkimuksen avulla pystytään kehittämään menetelmiä, joilla potilaiden altistuksesta saadaan nykyistä tarkempaa tietoa optimointitarkastelujen tueksi. Yhdistämällä potilasmallien (fantomien) kuvaukset ja simuloinnit pystytään laskennalliset menetelmät validoimaan ja toisaalta tuottamaan materiaalia kuvanlaatu- ja annostarkasteluihin.

Diagnostisen säteilyn käytön optimointiin kytkeytyy potilasannoksen lisäksi riittävä kuvanlaatu. Perinteiset kuvanlaadun arviointiin käytetyt menetelmät eivät enää riitä uusien iteratiivisten kuvan rekonstruktio menetelmiä käyttävillä laitteilla. Tutkimusta tarvitaan, jotta pystytään kehittämään menetelmiä, joilla pystytään paremmin arvioimaan kuvan laadun riittävyttä diagnostiseen käyttöön.

Toimenpideradiologia

Toimenpideradiologiaan ja -kardiologiaan liittyvät potentiaaliset suuret potilaan ja työntekijöiden altistukset on usealla taholla nostettu yhdeksi merkittävästä lääketieteen riskeistä. Potilaan altistuksen arviointi on ollut, mittaus- ja laskentamenetelmien puutteiden vuoksi, hankalaa. Erityisesti pitkittyneiden toimenpiteiden aikana on mahdollisuus vakaviinkin potilaan ihovaurioihin ja muiden elimien (mm. sydämen ja aivojen) toiminnallisiin haittoihin. Uusien laitestandardien myötä laitteiden raportoima tieto monipuolistuu ja potilaan altistuksen arviointiin on tulossa paremmat edellytykset – tämä kuitenkin edellyttää laskentamenetelmien kehitystä, laadunvalvonnan uudelleen arviointia ja menetelmien validointia mittauksin.

Potilaan säteilyaltistuksen optimoinnin tueksi on jatkuvasti seurattava annostasojä ja tarpeen mukaan päivitettävä toimenpidetasoja ja vertailutasoja. Nykyistä kattavampaa analyysia tarvitaan sen selvittämiseksi, mitkä tekijät (esim. toimenpiteen vaikeusaste, potilaan ominaisuudet, toimenpiteen tekijän kokemus, ...) vaikuttavat eniten potilaan säteilyaltistukseen, jotta keinoja suurten altistusten pienentämiseen voidaan pohtia.

S. Salomaa, M. Muikku, K. Peräjärvi, T. Siiskonen 30.6.2015

Toimenpideradiologit ja -kardiologit ovat yksi eniten altistuva työntekijäryhmä. Altistuksen pienentämiseksi on kiinnitettävä erityistä huomiota henkilökohtaisiin suojaumiin, työtapoihin ja laitteiden optimaaliseen käyttöön. Erilaiset työntekijöiden altistusmäärittelyt ja selvitykset on tehtävä yhteistyössä kotimaisen sairaaloiden ja yliopistojen välillä, jotta tilanteesta saadaan kattava kuva ja tulokset pystytään hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti.

Säteilysuojelun perusturvallisuusdirektiivi on uusittu. Uuden direktiivin myötä silmän linssin vuosiannosraja tulee laskemaan merkittävästi. Silmän annoksen mittaustermiä tulee arvioida ja työntekijöiden altistuksia tulee kartoittaa, jotta merkittävästi altistuvat työntekijäryhmät pystytään tunnistamaan ja heidän annoksiaan luotettavasti mittaamaan.

Viitteet:

Report of High Level and Expert Group on European Low Dose Risk Research
http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/hleg_report_-_january_2009.pdf

Strategic Research Agenda of MELODI, Multidisciplinary European Low Dose Initiative
<http://www.melodi-online.eu/>

Sosiaali- ja terveysalan asiantuntijalaitosten yhteenliittymä (SOTERKO, 20.12.2012). Sähkömagneettisten kenttien biologiset vaikutukset: Kansallinen tutkimusstrategia vuosille 2013–2016.

2.2 Säteily ympäristössä – tutkimustarpeet

Yhteiseurooppalainen radioekologian tutkimusyhteenliittymä The European Radioecology Alliance (ALLIANCE) on laatinut alalle strategisen tutkimusohjelman: Strategian mukaan tarkkojen ennusteiden tekeminen ihmisen ja eliökunnan altistumisesta edellyttää, että määritellään ja matemaattisesti kuvataan ne avainprosessit, joihin radioaktiivisten aineiden kulkeutuminen ja niistä koituvat annokset perustuvat. Tämä edellyttää keskeisten prosessien tunnistamista ja uutta dataa prosessipohjaisten mallien perustaksi. Päämääränä tutkimuksessa on kehittää kulkeutumis- ja altistumismallit, joissa fysikaaliset, kemialliset ja biologiset prosessit on otettu huomioon ja joiden pohjalta voi tehdä ajallisia ja paikallisia ennusteita. Nämä uuden sukupolven mallit korvaisivat nyt käytössä olevat siirtokertoimiin perustuvat kulkeutumismallit.

Ekologisten seurausten ennustaminen todellisissa altistustilanteissa edellyttää uutta tietoa radioaktiivisten aineiden aiheuttamista biologisista vaikutuksista eliöille molekyyli-, solu-, eliö- ja ekosysteemitasolla. Tarvitaan myös uutta tietoa lajien välisestä ja lajin sisäisestä säteilyherkkyydestä, yhteisvaikutuksista kemikaalien kanssa ja pitkäaikaisen kontaminaation vaikutuksesta populaatioissa ja ekosysteemeissä. Pitkällä tähtäimellä konkreettavana tavoitteena on ihmisen ja ympäristön suojelun integrointi ja yhteinen suojelujärjestelmä ihmiselle ja eliökunnalle. Riskin kuvaukseen tarvitaan koko ketju: kulkeutumismallit, altistumisarviointi ja vaikutusten arviointi. Myös säteilyn ja kemikaalien riskinarvioinnin yhdistäminen on tarpeen ja laajempi ekosysteemiajattelu tulisi yhdistää radioekologiaan.

S. Salomaa, M. Muikku, K. Peräjärvi, T. Siiskonen 30.6.2015

Suomessa tutkimus- ja kehitystyön tavoitteena on parantaa tietämystä ja asiantunte-
musta niin luonnollista alkuperää kuin ihmisen toiminnan aikaansaamien keinotekoi-
sen radionuklidien esiintymisestä ja kulkeutumisesta ympäristössä sekä niiden ihmiselle
ja eliökunnalle aiheuttamista vaikutuksista. Tämän saavuttamiseksi tarvitaan nykyaikai-
sia tutkimusmenetelmiä ja teknologiaa. Tutkimustyön kautta saavutetun ja ylläpidetyn
asiantuntemuksen avulla voidaan edistää säteilysuojelua Suomessa. Alla kuvataan erityi-
sesti kansallisesti tunnistettuja tutkimustarpeita.

2.2.1 Luonnonsäteilystä aiheutuvan altistuksen pienentäminen

Suomi kuuluu yhdessä muiden pohjoismaiden kanssa korkean radonpitoisuuden maihin.
Suomalaiset saavat valtaosan vuosittaisesta säteilyannoksestaan asuntojen huoneilmas-
sa olevasta radonista. Sisäilman radon on tupakoinnin jälkeen toiseksi merkittävin tun-
nettu keuhkosityövän aiheuttaja. Sisäilman radon on myös yksi merkittävimmistä suoma-
laisten kokonaistautitaakkaan vaikuttavista ympäristötekijöistä.

EU:n Säteilysuojeludirektiivissä 2013/59/EURATOM edellytetään kansallista toiminta-
suunnitelmaa radonaltistuksesta aiheutuvista pitkän aikavälin riskeistä. Kansallinen
toimintasuunnitelma kattaa hyvin asuntojen sisäilman radonturvallisuuden. STM:n hal-
linnonalalla STUKilla on hyvät edellytykset valmistella kansallinen toimintasuunnitelma
yhteistyössä muiden toimijoiden kanssa. Toimintasuunnitelman tekeminen ja imple-
mentointi vaatii työpanosta sekä selvityksiä useana vuonna. Säteilysuojeludirektiivin
edellyttämä lainsäädäntötyön uudistus sekä kansallinen toimintasuunnitelma radonal-
tistuksesta aiheutuvista pitkän aikavälin riskeistä valmistuu 6.2.2018 mennessä.

Radonturvallisen rakentamisen tutkimusta tulisi tehdä yliopistojen ja korkeakoulujen
sekä muiden toimijoiden välisenä yhteistyönä. Sisäilman radonin suhteen haasteena on
se, että asukkaiden tulee olla itse aktiivisia ja selvittää radonpitoisuus ja tarvittaessa
huolehtia radonkorjauksesta. Tämän vuoksi riskiviestintä sopisi hyvin radontutkimuk-
sen osaksi.

Suomessa on oltava tietoa, miten uudet tavat tehdä rakennuksia vaikuttavat radonpitoi-
suuksiin. Radon tulee sisältyä energiatehokkaiden rakennusten tutkimukseen varsinkin,
kun on viitteitä siitä, että näissä rakennuksissa paine-erot sisä- ja ulkoilman välillä saat-
tavat vaihdella huomattavasti enemmän kuin perinteisissä rakennuksissa. Toisaalta ra-
kennuksen vaipat ovat myös nykyisin tiiviimpiä kuin aiemmin, joten tässä suhteessa tu-
lisikin tarkastella, kumpi on merkittävämpi tekijä radonpitoisuuksien kannalta: vaipan
tiiviyden paraneminen vai paine-erojen kasvu.

2.2.2 Radionuklidien esiintyminen ja käyttäytyminen ympäristössä

Ihmisen ja ympäristön säteilyaltistuksen selvittämisessä tarvitaan tarkempaa tietoa ra-
dionuklidien kulkeutumisesta ja esiintymisestä suomalaisessa ympäristössä, vähintään-
kin siltä osin kuin se poikkeaa eurooppalaisesta ympäristöstä. Suomalainen subarktisen
ja pohjoisen havupuuvaltaisen luonnon erityispiirteitä ovat esim. boreaaliset metsät ja
suot, Itämeren murtoveden eliöstö, Lapin boreaalisen ja alpiinisen vyöhykkeen lyhyet
ravintoketjut ja poikkeukselliset kasvukaudet sekä suomalaisten järvien rikkonaisuus,
mataluus ja vähäravinteisuus. Näiden erityispiirteiden tunteminen ja selvittäminen on
olennaista, jotta pystytään ennustamaan radioaktiivisten aineiden käyttäytyminen ja
kulkeutuminen maatalous-, metsä- ja vesiympäristöissä niin hallittujen kuin hallitsemat-

S. Salomaa, M. Muikku, K. Peräjärvi, T. Siiskonen 30.6.2015

tomienkin päästöjen seurauksena sekä arviomaan radioaktiivisten aineiden aiheuttamia vaikutuksia niin ihmisille kuin eliökunnalle. Muissa maissa tehty ekologiset yleistyksen ja mallit eivät toimi Suomessa monilla alueilla. Myös ilmastomuutoksen mahdollisista vaikutuksista radionuklidien kulkeutumiseen ja uudelleen vapautumiseen on selvitetty erityisesti Suomen subarktisia alueilla. Pohjoisen alueen rajat ylittävää yhteistyötä, jota on tehty Barentsin alueella, on syytä jatkaa.

Radionuklidien ympäristökäyttäytymisestä tarvitaan tietoa kaivosten ja ydinvoimalaitosten ympäristövalvonnassa sekä vanhojen kaivos- ja kaivosjätealueiden arvioinnissa ja kunnostamisessa. Kaivosympäristö on myös hyvä esimerkki ympäristöstä, jossa olisi otettava huomioon samanaikainen altistuminen monelle eri kontaminantille, ei pelkästään säteilylle. Valmiustilanteissa käytettäviä radioaktiivisten aineiden kulkeutumista ennustavia leviämis- ja altistusarviointimalleja on kyettävä soveltamaan Suomen olosuhteisiin ja tähän tarvitaan tutkimusta. Mallien oletusparametreina on usein käytetty etelä- ja keskieurooppalaisia arvoja, jotka eivät sovi Suomeen.

Jotta pystytään selittämään ja ennustamaan radioaktiivisten aineiden esiintymistä ja kulkeutumista ympäristössä, on tunnettava niihin vaikuttavat prosessit ja mekanismit, mikä saattaa edellyttää tutkimusta myös atomi- ja molekyyllitasolla. Prosesseja ja mekanismeja voidaan tutkia useissa yhteyksissä esim. kaivosjätteisiin tai ydinpolttoaineen loppusijoitukseen liittyen. Tavoitteena on kehittää kulkeutumis- ja altistumismallit, joissa fysikaaliset, kemialliset ja biologiset prosessit on otettu huomioon ja joiden pohjalta voi tehdä ajallisia ja paikallisia ennusteita.

2.2.3 Ympäristön säteilysuojelu

Eliökunnan säteilysuojelun problematiikka ja muiden altisteiden vaikutusta säteilyhaittoihin selvitetään kansainvälisenä yhteistyönä (esim. ALLIANCE). Eliökunnan säteilysuojelu onkin luonteva laajentamissuunta radioekologiselle tutkimukselle. Pohjaa tälle tutkimusalueelle Suomessa luo perinteet säteilyn terveysvaikutuksiin liittyvässä tutkimuksessa, jossa on tarkasteltu mm. genomien epävakaisuutta, epigeneettisiä mekanismeja ja periytyviä vaikutuksia.

Eliökunnan säteilysuojelun tutkimiselle ja kehittämiselle asetetaan tarpeita myös viranomaispuolelta. Viranomaisen on oltava tietoinen esimerkiksi kaivosten ja ydinlaitosten päästöjen eliöstölle aiheuttamasta altistuksesta. Annosarvioissa sovelletaan Suomen olosuhteisiin niitä varten kansainvälisenä yhteistyönä kehitettyjä työkaluja. Pitkällä tähtäimellä tavoitteena on ihmisen ja ympäristön suojelun integrointi ja siten yhteinen suojelujärjestelmä ihmiselle ja eliökunnalle.

2.2.4 Tutkimus-, mittaus- ja analysointimenetelmät

Yllä kuvattujen aiheiden tutkimuksessa tarvitaan nykyaikaisia tutkimusmenetelmiä ja teknologiaa. Esimerkiksi matalien aktiivisuuksien määrittämiseen samoin kuin pienten säteilyannosten vaikutusten havaitsemiseen tarvitaan erityisen herkkiä menetelmiä. Prosessien ja mekanismien tutkimus edellyttää uusien, kehittyneiden tutkimusmenetelmien käyttöön ottoa sekä systeemejä yksinkertaistavia mallikokeita.

Tämän ohjelman laatimisessa mukana olleilla laitoksilla on laajaa ja monipuolista mittaus- ja analyysiteknistä osaamista, jota voidaan soveltaa säteilysuojeluongelmien moni-

S. Salomaa, M. Muikku, K. Peräjärvi, T. Siiskonen 30.6.2015

tieteelliseen lähestymiseen. Uusien tutkimus-, mittaus- ja analysointimenetelmien kehittäminen on olennainen osa laitosten toimintaa. Käytössä olevaa osaamista ja infrastruktuuria on kuvattu ohjelman luvussa 4.

Viitteet:

Strategic Research Agenda of European Radioecology Alliance:
<https://wiki.ceh.ac.uk/display/star/Strategic+Research+Agenda>.

2.3 Valmius ja turvajärjestelyt – tutkimustarpeet

Euroopassa on muutamia satoja ydinreaktoreita ja kymmeniä muita ydinlaitoksia. Vastuullinen ydinenergian käyttö edellyttää varautumista mahdollisten onnettomuuksien varalta. Ydinonnettomuuden todennäköisyys on tätä nykyä pieni, mutta toteutuessaan sillä olisi laajamittaiset vaikutukset koko yhteiskuntaan. Viimeisen 25 vuoden aikana ydinonnettomuuksiin varautuminen on merkittävästi kehittynyt eurooppalaisella, kansallisella ja alueellisella tasolla. Myös Suomessa on panostettu valmiuden kehittämiseen. Päätöksenteon tukijärjestelmien kehittämistä tarvitaan edelleen erilaisten uhkakuvien tai teknologisen kehityksen huomioon ottamiseksi. Yhteiseurooppalainen tutkimusyhteenliittymä European Platform on Preparedness for Nuclear and Radiological Emergency Response and Recovery (NERIS) on laatinut alalle strategisen tutkimusohjelman. Siinä kehitetään edelleen mm. ilmakehän ja vesistöjen kulkeutumismalleja, menetelmiä säteilyaltistumisen arvioinnin parantamiseksi (esim. datan louhinta, tiedon kerääminen viestimien tai sosiaalisen median kautta) sekä sidosryhmien osallistamiseksi paikallistasolla.

Säteilyvaaratilanteen mahdollisuutta ei voida sulkea pois säteily- ja ydinturvallisuusriskejä ennaltaehkäisevästä toiminnasta huolimatta. Laajaa aluetta koskevan, koko yhteiskuntaan vaikuttavan, vakavan säteilyvaaratilanteen Suomeen voi aiheuttaa esimerkiksi vakava ydinvoimalaitosonnettomuus kotimaisella tai lähialueen ydinvoimalaitoksella. Tilanteen hoito edellyttää toimia kaikilta hallinnon aloilta ja kaikilta hallinnon tasoilta. Toimet voivat olla mittavat, jolloin tarvitaan yhteiskunnan laajaa panostusta haittojen torjumiseen. Tilanteen hoito voi olla myös hyvin pitkäkestoinen: ympäristön puhdistaminen ja elinolosuhteiden palauttaminen, elintarvikkeiden ja juomaveden puhtauden varmistaminen sekä radioaktiivisia aineita sisältävien jätteiden jätehuolto voi suuren laskeuman alueella kestää vuosien ajan. Tilanteesta toipuminen voi onnettomuuslaitoksen lähialueella viedä jopa vuosikymmeniä.

Ydinonnettomuuksiin varautumisen ohella tarvitaan myös varautumista lainvastaisten tekojen estämiseksi ja turvajärjestelyjen kehittämiseksi. Turvajärjestelyjen/ydinturvan ensisijainen tavoite on pahantahtoisen toiminnan estäminen. Turvajärjestelyihin kuuluu havaitseminen ja vaste. Vasteella turvajärjestelyjen tapauksessa tarkoitetaan mm. rikosteknistä tutkintaa ja syyttämistä. Ydinforensiikaksi kutsutaan rikosteknisen tutkimuksen sitä osaa jolla pyritään selvittämään radioaktiivisen aineen alkuperä, käyttöhistoria ja se ketkä ovat materiaalia käsitelleet. Vasteeseen kytkeytyy kiinteästi myös säteilysuojelu ja muu valmiustoiminta.

Ydinpolttoainekierron valvonta on Safeguards-toimintaa. Se keskittyy valtiollisiin toimiin. Safeguards-menetelmät soveltuvat usein myös ydinforensiivisiin analyysiin.

S. Salomaa, M. Muikku, K. Peräjärvi, T. Siiskonen 30.6.2015

Valmiustoiminta käynnistetään myös säteily- tai ydinonnettomuuden seurauksena. Sen ensisijainen tehtävä on minimoida poikkeavan tapahtuman vaikutukset. Valmiutta ylläpidetään Suomessa tutkimuksen lisäksi mm. valmiusharjoituksilla, ympäristövalvonta-ohjelmalla ja koko maan kattavalla USVA-valvontaverkolla. Valmiustilanteita varten laadittavilla monitorointistrategioilla ja erilaisilla valmiusohjeilla on myös keskeinen merkitys.

Mittaukset ja teknologiat ovat oleellinen osa sekä valmiustoimintaa että turvajärjestelyjä. Tarvittavat sovellukset ja teknologiat riippuvat oleellisesti siitä, mitä tietoa ja mihin tarkoitukseen tarvitaan, kuka mittaustietoa tulkitsee, kuinka kiire tämän tiedon saamisessa on ja kuinka suuret vaatimukset kulloinkin on mittaustiedon laadun ja jäljitettävyyden osalta. Suurten tietomäärien hallinta, tiedonsiirto ja tietoturva asettavat myös omat haasteensa.

2.3.1 Uhkakuvien analysointi ja uhkien ennalta ehkäiseminen

Riskin arvioinnin ja ennaltaehkäisemisen tueksi tarvitaan tietoturvallisia ohjelmistoja. Ydinlaitosonnettomuuksien seurausten arviointia ja analysointia varten on nykyään rutiinisti käytettävissä melko ajantasaiset ohjelmistot ja järjestelmät. Sen sijaan viranomaisilta puuttuvat korkealaatuiset ohjelmistot mm. CBRNE (Chemical, Biological, Radioactive, Nuclear, Explosives) -skenaarioiden luomiseen uhka- ja riskianalyysijä varten, sekä laadittujen skenaarioiden hallinta- ja analyysityökalut. Skenaarioita voidaan luoda esim. valtiotietojärjestelmien turvajärjestelyjen suunnittelun tueksi. Vaikka skenaariot sinänsä ovat turvaluokiteltuja, voivat niiden laadintaan käytetyt ohjelmistot olla julkisia. Kyseiseen tarkoitukseen laaditut nykyaikaiset ohjelmistot voisivat tarvittaessa olla jopa kaupallistettavissa. Samaan tapaan ohjelmistoja voitaisiin kehittää myös uhkausten uskotavuuden ja vakavuuden arviointiin.

Valmiuteen liittyen on tarvetta tehdä vakavien onnettomuuksien seurausanalyysijä kotimaisille ydinvoimalaitoksille realistisia päästötermejä käyttäen. Valmiustilanteisiin liittyvää riskin arviointia ja ennaltaehkäisemistä on mahdollista edelleen kehittää analysoimalla tapahtuneita onnettomuuksia eri näkökulmista: teknillinen, inhimillinen, organisatorinen ja yhteiskunnallinen.

Säteilyriskien arvioinnissa olisi hyvä pohtia myös tahallisten tekojen mahdollisuutta ja toimintaskenaarioita niiden varalle. Skenaarioita olisi hyvä laatia esimerkiksi erilaisiin säteileviin aineisiin liittyvistä rikostyypeistä ja rikoksissa käytettävistä aineista sekä aineiden levittämis- ja leviämistavoista. Lisäksi huomiota tulisi kiinnittää esimerkiksi kohdennettujen täsmäiskujen mahdollisuuteen sekä säteilysairauksia aiheuttavien aineiden leviämiseen ruuan ja juoman kautta.

2.3.2 Mittaukset ja teknologiat

Kentällä tehtävät mittaukset

Valmiustilanteiden alkuvaiheessa vallitsee merkittävä epävarmuus siihen saakka kunnes saadaan empiiristä mittaustietoa laadittujen ennusteiden rinnalle. Jotta tällaista kokeellista informaatiota saataisiin mahdollisimman nopeasti päätöksenteon tueksi, tarvitaan luotettavia kenttämittausten menetelmiä. Valmiuteen liittyviä tärkeitä tutkimusaiheita löytyy koko maan kattavista kiinteistä valvontaverkoista (teknologian ekstrapolointia,

S. Salomaa, M. Muikku, K. Peräjärvi, T. Siiskonen 30.6.2015

seuraavan sukupolven automaattinen ulkoisen säteilyn valvontaverkko), miehitetyistä ja miehittämättömistä liikkuvista mittauksista maalla, merellä ja ilmassa, näytteiden mittaamisesta kentällä tai kohteiden analysoinnista ilman näytteenottoa (näyttemäärien vähentäminen), sekä nopeista ihmismittauksista (uhrien jaottelu, triage).

Turvajärjestelyjen kannalta kiinnostavia tutkimus- ja kehittämisaiheita ovat mm. nopeasti pystytettävät paikalliset valvontaverkot (VIP-tilaisuudet, suuret massatapahtumat jne.), aktiiviset havainnointimenetelmät, tehokkaasiin ilmaisimiin perustuvat liikkuvat säteilytiedustelumittaukset, työkalut CBRNE-tilanteen tunnistamiseen, lähteenpaikannusalgoritmit, kuvantavat ilmaisimet ja radioaktiivisia aineita sisältävän rikospaikan tutkinta roboteilla ja ilman. Aktiivisten menetelmien tutkimus voi esim. keskittyä täysin tuntemattomien kohteiden analysoinnin luotettavuuden parantamiseen. Rikospaikkatutkinnan tapauksessa kyseeseen tulee lähinnä maata pitkin kulkevat ja pyöriväsiipiset robotit. Eräs tulevaisuuden tutkimusteema liittyy robotin autonomian lisäämiseen eli robotille voidaan antaa tehtäviä, joissa se lukee mukanaan kuljettamansa säteilyilmaisimen tuottamaa dataa ja päättää sen ja muun informaation perusteella mihin suuntaan liikkuu.

Myös ravinnon ja ravintoketjun kautta saatavan säteilyn tutkimusta ja mittausten menetelmiä olisi hyvä kehittää. Mahdollisen joukkotuhon varalta olisi hyvä kehittää myös pikatestejä nieltujen säteilylähteiden havaitsemiseksi nopeasti sekä epätavallisen säteilysairauden erottamiseksi muista ruokaperäisistä tai muulla tavoin tarttuvista sairauksista.

Kentällä tehtävä näytteenotto

Valmiustilanteissa laboratorioanalyysiin kerättävien näytteiden lukumäärä kasvaa helposti liian suureksi laboratorion kapasiteettiin nähden. Näyttemäärien vähentämiseksi näytteenoton volyymin optimointia tulisi tarkastella, tavoitteena luotettava tilannekuva minimimäärällä näytteitä. Myös itse näytteenottoprosessissa on kehitettävää: esimerkiksi ilmanäytteiden analyysi hyötyisi matriisivapaista näytteistä (sähköstaattiset kerääjät) ja bionäytteiden ottoon tarvitaan luotettavia menetelmiä. Lisäksi tarvitaan yksinkertaisia ja halpoja menetelmiä kaasumaisten aineiden suodattamiseen ilmasta, sekä niiden vapauttamiseen takaisin kaasufaasiin (erityisesti jalokaasut). Myös robotiikan soveltamista näytteenottoon päästöpilvestä, dekontaminaatiomenetelmiä ja niihin liittyviä näytteenottomenetelmiä tulisi kehittää.

Turvajärjestelyihin liittyen kiinnostavia tutkimusaiheita ovat menetelmät ja laitteet, joilla ihmiset tai robotit voivat ottaa DNA- ja sormenjälkinäytteitä säteilevistä kohteista, ydinforensiivisten todisteiden taltiointi, todisteketjun aukottomuuden (chain of custody) varmistaminen ja todisteiden lajittelu kentällä. Kuten turvajärjestelyjen kenttämittauksissakin, kyseeseen tulevat lähinnä maata pitkin kulkevat ja pyöriväsiipiset robotit. Parhaan lopputuloksen saamiseksi myös rikospaikkatutkijan ja robotin välistä työnjakoa tulee arvioida ja optimoida.

Laboratoriossa tehtävät toimenpiteet ja niiden valmistelu

Laboratoriossa tehtävää mittausta edeltää usein aikaa vievä näytteenvalmistusprosessi. Valmiustilanteisiin on kehitetty erilaisia pikamenetelmiä, mutta tällä saralla on edelleen kehitettävää. Uudet aiempaa paremman energioresoluution omaavat säteilyilmaisimet (mikrokaloreimetrit) saattavat tulevaisuudessa vähentää tarvetta eri radioaktiivisten ai-

S. Salomaa, M. Muikku, K. Peräjärvi, T. Siiskonen 30.6.2015

neiden kemialliseen erotteluun. Näytemittausten herkkyyttä ja luotettavuutta voidaan parantaa myös muilla tavoin. Esimerkiksi matalan taustan gammaspektreistä voidaan poistaa kosmisen säteilyn aikaansaamat tapahtumat vuoraamalla lyijylinnan ulkopuoli muovii-ilmaisimilla. Uusilla ilmaisinsratkaisuilla voidaan tehostaa myös ihmismittauksia esimerkiksi alfa-aktiivisten aineiden osalta.

Turvajärjestelyissä DNA- ja sormenjälkinäytteiden otto säteilevistä kohteista voi tapahtua myös laboratoriossa. Tähän liittyy myös VTT:n uuden Ydinturvallisuustalon forensiivinen varustaminen. Rikoslaboratoriot eivät halua analysoitavaksi merkittävästi kontaminoitunutta DNA:ta. Tästä syystä erilaisia DNA-näytteiden dekontaminaatiomenetelmiä tulee kehittää. Ydinforensiiviin analyysihin voidaan myös testata uusia mittausmenetelmiä ja algoritmeja. Lisäksi kontaminoituneiden vainajien tutkintaa tulisi tarkastella.

2.3.3 Riskien hallinta ja vaste

Tiedon tehokas tuottaminen ja hyödyntäminen

Valmius- ja turvajärjestelytilanteissa päätöksiä joudutaan usein tekemään puutteellisen tiedon varassa. Tästä syystä tilannekuvan hallintaan ja päätöksenteon tueksi tarvitaan tutkittua tietoa ja työkaluja. Edelliseen liittyy mm. monitorointistrategioiden kehittäminen erilaisille skenaarioille.

Lisäksi käyttöön tarvitaan nopeita ad hoc –tyyppisiä tilannekuvanluontimenetelmiä mm. säteilylle altistuneiden määrän, sijainnin, kunnon ja avuntarpeen määrittämiseksi sekä pelastus-, hoito-, raivaus- ja jälkihoitotoissa tarvittavien resurssien saatavuuden selvittämiseksi ja koolle kutsumiseksi. Tähän soveltuvia matkapuhelimilla toimivia järjestelmiä on jo olemassa Suomessa, mutta viranomaisohjeistusta niiden käyttöön ei ole. Myös pelastuslaitosten valmius uusien järjestelmien käyttöönottoon on mm. henkilöresurssoinnista ja työkuormituksesta johtuen heikko.

Informaation jakaminen, oikea tieto oikeaan paikkaan oikea-aikaisesti, vaatii myös tutkimus- ja kehitystyötä. Välitettävä tieto on usein luottamuksellista. Mittaustiedon tehokkaaseen jakamiseen ja hyödyntämiseen tarvitaan standardiformaatteja ja –protokollia. Uusia ohjelmistoja tarvitaan lisäksi mittaustulosten ja ennusteiden automaattiseen vertailuun (tilannekuvan luotettavuuden varmistaminen), sekä tiedon louhintaan julkisista lähteistä.

Kriisitilanteissa tapahtuvaan vaaratiedottamiseen tarvitaan uusia kansalaiset paremmin tavoitettavia välineitä kuten matkapuhelinten avulla tapahtuvat väestöhälytykset ja muu interaktiivinen kriisiviestintä. Joustavia ja edullisia niin paikallisiin kuin koko valtakunnan laajuisiin vaaratilanteisiin soveltuvia hälytysmenetelmiä on kaupallisesti saatavilla Suomessa mutta viranomaispäätöksiä niiden käyttöönottoon ei ole. Muuta väestöä suurempi tarve tällaisten järjestelmien käyttöönotolle on kohteissa, joihin liittyy joko pysyväisluontoisesti tai tilapäisestä syystä suuronnettomuuden tai tahallisesti aiheutetun joukkotuhon riski. Pysyväisluontoisia kohteita ovat kriittiset infrastruktuurit kuten ydinvoimalat, muut energia- ja tuotantolaitokset, viestintäyhteydet sekä kansalliset hallintorakennukset. Tilapäisiä riskikohteita puolestaan voivat olla esimerkiksi suuret yleisötapahtumat, valtiovierailut ja muut eri alojen avainhenkilöihin kytkeytyvät joukkota-paamiset.

S. Salomaa, M. Muikku, K. Peräjärvi, T. Siiskonen 30.6.2015

Säteilyvaaratilanteen jälkivaiheen hoito

Jäännösannoksen määrittäminen valmiustilanteiden aikana on koko suojelustrategian lähtökohta. Jäännösannos kuvaa sitä säteilyaltistusta, joka jää jäljelle suojelutoimenpiteiden toteuttamisen jälkeen. Keskeinen kysymys on, miten voidaan tarpeeksi nopeasti arvioida kaikki altistusreitit tähän jäännösannokseen, ja miten voidaan arvioida esimerkiksi sisätilojen saastumisesta koituvaa altistumista. Puhdistus muodostaa keskeinen osan jälkivaiheen hoitoa. Tutkimusmielessä tulisi keskittyä suomalaisen asutun ympäristön puhdistusmenetelmien kehittämiseen. Lisäksi säteilysuojelullisten toimenpiteiden optimoimiseksi ja vaikutusten minimoimiseksi tarvitaan tutkimusta onnettomuuksiin liittyvistä sosiologisista ja psykologisista vaikutuksista.

Viitteet:

<http://www.eu-neris.net/index.php/library/root/document/strategic-research-agenda-1.html>

2.4 Muut tutkimustarpeet

Myös yhteiskuntatieteillä ja organisaatiotutkimuksella on oma roolinsa säteilyturvallisuu-
suustutkimuksen kentässä, vaikka tähän liittyvää tutkimusperinnettä ei Suomessa ole
liiemmin ollut. Riskiviestintä, riskien kokeminen, riskien hyväksyttävyys, turvallisuus-
kulttuuri sekä riskikäyttäytymisen ja ennakointien toimintatapojen ja kompetenssien
tutkimus ja säteilysuojelun yleinen arvopohja ja eettiset kysymykset ansaitsevat oman
paikkansa tutkimusohjelmassa. Eurooppalaiset tutkimusyhteisöt suunnittelevat tämän
alueen tutkimusagendan valmistelemista H2020- ohjelmassa ja tähän valmistelutyöhön
olisi hyvä saada suomalaistakin edustusta.

Vaikka suoraan säteilyturvallisuutta palveleva tutkimus on tämän yhteenliittymän ta-
voitteena, niin säteilyn esiintyvyyttä ympäristössä pystytään käyttämään monilla tie-
teenaloilla. Tutkimuslaitteiden yhteiskäyttö tarjoaa uusia mahdollisuuksia yliopistoille
sekä tutkimuslaitoksille tukemaan monia tieteenaloja sekä uusia tutkimusaiheita. Sätei-
lyn mittaamistarpeita on perinteisillä aloilla kuten geologia ja ilmakehäfysiikka. STUK:n
ja yliopistojen yhteenliittymä mahdollistaa myös kansallisen tutkimusinfrastruktuurin
joustavamman ja tehokkaamman käytön joka palvelee monitieteisiä tutkimusaloja. STU-
Kin tietovarannot ja laajemmin globaalit aineistot tarjoavat mahdollisuuksia tiedon lou-
hintaan ja uudelleen yhdistämiseen muiden tietovarantojen kanssa.

Ydinturvallisuuden (sisältäen valmiustoiminnan laitosalueella ja päästöjen ennakkoin-
nin), turvajärjestelyjen ja ydinmateriaaliturvallisuuden (safeguards) muodostama kes-
kinäiset vuorovaikutukset, eli 3S (Safety, Security, Safeguards) on tutkimuskohteena uu-
si ja nousemassa perinteisen yliopistoissa tehdyn turvallisuuteen liittyvien ilmiöiden
tutkimuksen (erityisesti mallintamisen) rinnalle. 3S-aihepiireissä eri turvallisuuden eri
suunnista laitoksille asetetut suunnitteluvaatimukset ovat joiltain osin keskenään risti-
riitaisia, joilta taas toisiaan tukevia. Tutkimuksellisesti voidaan tuottaa turvallisuuden
kannalta mahdollisimman tehokkaita vaatimusyhdistelmiä ja toimintamalleja sovelletta-
vaksi viranomaistyössä.

S. Salomaa, M. Muikku, K. Peräjärvi, T. Siiskonen 30.6.2015

3 Kansallisen säteilyturvallisuustutkimuksen järjestelyt

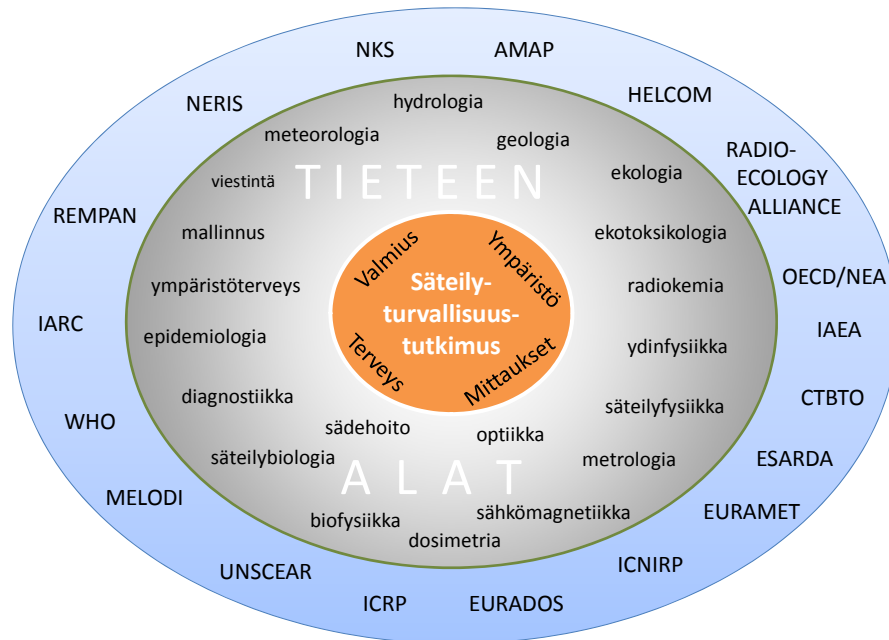
Valtioneuvoston periaatepäättös valtion tutkimuslaitosten ja tutkimusrahoituksen kokonaisuudesta (5.9.2013) sisältää säteilyturvallisuustutkimuksen kannalta kolme merkittävää asiaa. Ensinnäkin STUKin tutkimusrahoituksesta merkittävä osa siirretään uusiin Strategisen tutkimuksen ja VNK:n päätöksentekoa tukevan tutkimuksen rahoitusvälineisiin, toiseksi tutkimuslaitosten ja korkeakoulujen yhteistyötä syvennetään ja kolmanneksi tutkimuslaitosten yhteenliittymien (mm. SOTERKO) toimintaa tehostetaan.

TULA-päätöksessä edelleen linjataan, että tutkimuslaitosten ja korkeakoulujen yhteistyön syventämiseksi synnytetään valtakunnallisesti ohjattu useampivuotinen kehittämisprosessi, jossa tutkimuslaitokset ja korkeakoulut muodostavat asteittain aitoja osaamisen keskittymiä (sopimusperusteiset yhteenliittymät). Opetus- ja kulttuuriministeriö vastaa prosessin käynnistämisestä ja eteenpäin viemisestä yhteistyössä tutkimuslaitoksia ohjaavien ministeriöiden kanssa. Valtioneuvoston periaatepäättöksen mukaan tutkimuslaitosten ja korkeakoulujen sopimusperusteisilla yhteenliittymillä tulee olla yhteisiä tutkimuslaitteita, laboratorioita ja tietovarantoja (mm. seuranta-aineistot, näyteaineistot, tilasto- ja rekisteriaineistot), ja tiivis yhteistyö tutkimuksessa ja opetuksessa (mm. toisiaan täydentävien osaamisten yhdistäminen, yhteiset professuurit, tehtävät ja yhteistä henkilökuntaa). Edelleen TULA-päätöksessä visioidaan, että tutkimuslaitokset ja korkeakoulut muodostavat alueellisesti yhteisiä kampusalueita, joilla on yhteisiä toimintoja (mm. fyysisten voimavarojen ja tutkimusinfrastruktuurin yhteiskäyttö).

Yliopistoyhteistyön kehittäminen on nostettu esille myös STUKin strategiassa 2013–2017. Ydinenergia-alan tutkimusstrategian (TEM 16/2014) suosituksissa ydinenergia-alan tutkimuksen pitkäjänteiseksi varmistamiseksi ja kehittämiseksi ydinenergia-alan tutkimuksen painopisteet esitetään koottavan ohjelmiksi. Yksi kolmesta ohjelmallisesta painopisteestä on säteilyturvallisuustutkimus, ja sen yhteydessä esitetään toteutettavaksi verkostomainen yhteenliittymä yliopistojen, korkeakoulujen ja STUKin välillä. Säteilyturvallisuustutkimuksen vastuutaho Suomessa on STM. EU-tutkimuksen tasolla säteilyturvallisuustutkimus on osa Euratom-ohjelmaa ja liittymäkohtia löytyy myös eurooppalaisessa metrologian innovaatio- ja tutkimusohjelmassa (EMPIR) ja turvallisuustutkimuksen (security) ohjelmassa.

Säteilyturvallisuus on monitieteinen erikoisala, jonka tietopohja kattaa laajan kirjon tieteenaloja, aina säteily- ja ydinfysiikasta biolääketieteisiin, ympäristötieteisiin, tekniikkaan ja yhteiskunta- ja käyttäytymistieteisiin (kuva 3). Kansainväliset asiantuntijaverkostot ovat keskeisessä roolissa tutkimuksessa, sen rahoituksessa ja tieteellisteknisen tiedon jäsentäjinä ja jakajina.

S. Salomaa, M. Muikku, K. Peräjärvi, T. Siiskonen 30.6.2015



Kuva 3. Säteilyturvallisuuden tutkimus on monitieteistä ja kytkeytyy kansainvälisiin verkostoihin.

Lyhenteet:

ALLIANCE, The European Radioecology Alliance
 AMAP, Arctic Monitoring and Assessment Program
 CTBTO, Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty Organization
 ESARDA, European Safeguards Research & Development Association
 EURADOS, European Dosimetry Group
 EURAMET, European Metrology Programme
 HELCOM, Baltic Marine Environment Protection Commission - Helsinki Commission
 IAEA, International Atomic Energy Agency
 IARC, International Agency for Cancer Research
 ICNIRP, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
 ICRP, International Commission on Radiological Protection
 MELODI, Multidisciplinary European Low Dose Initiative
 NERIS, European Platform on Preparedness for Nuclear and Radiological Emergency Response and Recovery
 NKS, Nordic Nuclear Safety Research
 OECD/NEA, Nuclear Energy Agency
 REMPAN, Radiation Emergency Medical Preparedness and Assistance Network
 UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
 WHO, World Health Organization

S. Salomaa, M. Muikku, K. Peräjärvi, T. Siiskonen 30.6.2015

4 Säteilyturvakeskuksen ja yliopistojen roolit ja profiloituminen

Säteilyturvakeskuksella ja yliopistoilla on toisiaan täydentävät tehtävät. Yliopistot huolehtivat perustutkimuksesta ja koulutuksesta säteilyturvallisuuden kannalta keskeisillä tieteenaloilla ja Säteilyturvakeskus vastaavasti huolehtii viranomais- ja asiantuntijatehtävistä sekä säteilyvaaratilanteisiin varautumisesta. STUKin oma tutkimustoiminta jatkossa tulee olemaan luonteeltaan lainsäädännön toimeenpanoa tukevaa selvitys- ja kehittämistyötä, eli se on lähtökohtaisesti konservatiivista. Tämän vastapainoksi ohjelmassa tarvitaan myös tutkimusta, joka kyseenalaistaa vallitsevia käsityksiä ja käytäntöjä.

Kansallisen osaamisen ylläpito edellyttää pitkäjänteisyyttä. Tutkimuksessa tarvitaan ohjelmallisuutta ja asiantuntijoiden kouluttamista pikemmin kuin yksittäisiä hankkeita. Tutkimusrahoitus on nykyään kuitenkin pääasiassa hankemuotoista ja ohjelmallisuutta pyritään hakemaan strategisen tutkimuksen ja yhteenliittymän kautta. Kansallinen säteilyturvallisuuden tutkimuksen yhteenliittymä tarjoaa foorumin sekä kansalliselle että kansainväliselle tutkimusyhteistyölle. Yliopistojen ja korkeakoulujen osaamista tarvitaan erityisesti terveyteen, ympäristöön ja säteilyn mittaamiseen ja teknologiseen T&K-toimintaan sekä yhteiskuntatieteelliseen ja organisaatiotutkimukseen. Tutkimus voidaan integroida koulutukseen, yhteys perustutkimukseen takaa korkean tieteellisen tason ja mahdollistaa poikkitieteelliset innovaatiot.

Kansallisella ohjelmalla on liittymäpintoja myös ammattikorkeakouluihin (esim. Pelastusopisto ja röntgenhoitajien koulutusohjelmat) sekä tutkimuslaitosten yhteenliittymiin (SOTERKO ja LYNET).

4.1 Säteilyturvakeskuksen rooli ja profiloituminen

STUKin tutkimuksen budjettirahoitus supistuu jopa 80 % kaudella 2010-2017. Tämä tarkoittaa sitä, että T&K-toiminnassa STUK pystyy keskittymään vain kaikkein oleellimpaan ja tarpeellisimpaan, kiinteästi valvontaa ja valmiutta tukevaan tutkimus- ja kehitystyöhön sekä metrologian kehittämiseen. STUK on jo aiemmin joutunut lakkauttamaan säteilybiologian laboratorion ja tuoreemmat tutkimustoiminnan leikkaukset kohdistuvat ympäristötutkimukseen ja valmiustoiminnan kehittämiseen. STUKissa tehtävä T&K on luonteeltaan soveltavaa tutkimusta, kehittämistyötä ja selvityksiä.

Säteilyn käytön valvontaa koskevan tutkimus- ja kehitystoiminnan tulosten perusteella pystytään asettamaan tarkoituksenmukaisia, säteilyn käytön turvallisuutta ja laadunvarmistusta koskevia suosituksia ja vaatimuksia, kehittämään valvontamenetelmiä ja alitustuksen määrittämenetelmiä sekä kohdentamaan valvontaa vaikuttavuuden parantamiseksi. Metrologiaan liittyvä T&K puolestaan varmistaa luotettavat ja tarkat säteilymitaukset ja annosmääritykset sekä pitää kansallisen mittanormaalityönnän korkealla kansainvälisellä tasolla.

Ympäristövalvonnan osalta STUKin tutkimus- ja kehitystoiminnassa keskitytään vähentämään suomalaisten merkittävimmän terveysriskin, sisäilman radonin, säteilyvaikutuksia sekä tuottamaan tarkempaa tietoa luonnonnuklidien ympäristökäyttäytymisestä siltä osin kuin se poikkeaa käyttäytymisestä muussa eurooppalaisessa ympäristössä. Tutkimustietoa tarvitaan ympäristövalvonnan optimaaliseen kohdentamiseen sekä säteily-suojelulainsäädännön uudistuksen ja lain toteutuksen tueksi. Metrologiaan liittyvä T&K varmistaa luotettavat ja tarkat aktiivisuuden määritykset sekä laboratorioissa että ken-

S. Salomaa, M. Muikku, K. Peräjärvi, T. Siiskonen 30.6.2015

tällä laitteistojen laadunvarmistuksen ja kehittämisen kautta sekä mahdollistaa aktiivisuussuureiden sisällyttämisen kansalliseen mittanormaaliin.

STUKin tutkimus- ja kehitystoiminnan tulosten perusteella pidetään yllä STUKin valmiutta muodostaa tilannekuva onnettomuudesta, sen kehittymisestä ja säteilytasoista, jotta voidaan arvioida säteilytilanteen turvallisuusmerkitys ja säteilyvaikutukset väestölle, ympäristölle ja yhteiskunnalle sekä ryhtyä toimiin säteilyaltistuksen pienentämiseksi. Lisäksi T&K:n tulosten ja tuotosten avulla parannetaan STUKin valmiutta antaa suosituksia ja etätukea sekä neuvoja tilanteen hallintaan osallistuville viranomaisille ja muille yhteiskunnan toimijoille. Turvajärjestelyjä tukevalla T&K toiminnalla kehitetään lisäksi säteilytilanteiden ennaltaehkäisemistä.

Säteilyturvakeskuksella on kansallisesti merkittäviä infrastruktuureja. STUK on kansallinen mittanormaallilaboratorio ionisoivan säteilyn suureiden osalta. Säteilytyshalli kalibrointilähteineen, automaattiset säteilyvalvontaverkot, liikkuvat laboratoriot sekä ympäristönäytteiden ja ihmisten radioaktiivisuusmittauksiin erikoistuneet laboratoriot mahdollistavat luotettavat ja tarkat mittaukset valvonnan ja valmiustoiminnan ohella myös tutkimuksessa. Ionisoimattoman säteilyn osalta laboratoriot toiminta kattaa optisen säteilyn ja radiotaajuuden säteilyn. STUKissa on yliopistojen kanssa yhteiskäyttöön hankittuja laitteita. Tutkimuslaitosuudistuksen myötä monia laitteistoja ollaan siirtämässä yliopistoihin yhteenliittymän toiminnassa ja säteilyturvallisuustutkimuksessa käytettäväksi, sitä mukaa kuin STUKin omaa laboratoriotointa karsitaan. Säteilyturvakeskuksella on myös laajoja tieto- ja näyteaineistoja, joita voidaan hyödyntää tutkimusyhteistyössä. Julkisin varoin tuotettu tieto on suurelta osin avointa dataa ja muun tutkimusyhteisön käytettävissä.

4.2 Yliopistojen rooli ja profiloituminen

Säteilyturvallisuustutkimuksen yhteenliittymää suunniteltaessa on hyödynnetty jo olemassa olevaa yhteistyötä ja kartoitettu sekä perustieteenaloja että täydentävää osaamista. Yliopistojen näkökulmasta on tärkeää että yhteistyö on linjassa yliopistojen omien profiilien ja tutkimuksen painopisteiden kanssa. Tätä luotausta on tehty yliopistojen ja STUKin johdon välisissä tapaamisissa. Tarkempaa keskustelua yhteistyöalueista ja hankevalmistelusta on käyty asiantuntijatasolla yhteisissä seminaareissa ja tapaamisissa.

Aalto yliopisto

Aalto-yliopiston profiilista ja tutkimuksen painopisteistä laskentaan ja mallinnukseen liittyvä osaaminen on STUKin kannalta keskeistä. Erityisesti korkeatasoinen riskien arviointiin liittyvä tutkimus kattaa monialaisen todennäköisyyspohjaisen riskianalyysin sekä organisaatio- ja projektitutkimuksen (ennakoiva toiminta, kompetenssit, turvallisuuskulttuurit). Sähkömagneettisten kenttien dosimetriaan liittyvä laskentaosaaminen ja tutkimustyö ovat kriittistä kansallista osaamista. Rakennus-, LVI-, ja geotekniikan tutkimus ovat tärkeässä roolissa rakennetun ympäristön radonturvallisuuden hallinnan varmistamiseksi, arkkitehtuuri tarjoaa täydentävää osaamista. Aalto yliopiston materiaalitutkimus tuo täydentävää osaamista säteilyn vaikutusten ymmärtämiseen erityisesti elottoman aineen osalta sekä edistää säteilymittausteknologian kehittämistä.

S. Salomaa, M. Muikku, K. Peräjärvi, T. Siiskonen 30.6.2015

Helsingin yliopisto

Helsingin yliopiston tutkimuksen profiilissa ja painopisteissä yhteistyölle soveltuvia teemoja ovat mm. elämän perusrakenne (geenitutkimus, systeemibiologia ja biotekniikka), muuttuva ympäristö – puhdas vesi (ilmakehä ja ilmastomuutos, Itämeri), hyvinvointi ja turvallisuus (elintarvikkeet ja lääkkeet) sekä kliininen tutkimus. Radiokemian laboratorio (HYRL) on ainoa radiokemian yleisyksikkö Suomessa ja alansa suurimpia yliopistoyksiköjä maailmassa. Se kouluttaa radiokemian maistereita, jotka toimivat erityisesti ydinjätteiden käsittelyyn ja loppusijoitukseen liittyvässä tutkimuksessa, radio-lääkeaineiden käytössä ja kehityksessä sekä ympäristön radioaktiivisuustutkimuksessa ja -valvonnassa. HYRL:llä on yli viidenkymmenen vuoden kokemus ympäristön radioaktiivisuustutkimuksista, jossa se on ollut kiinteässä yhteistyössä STUK:n kanssa. Ympäristötutkimukseen löytyy kaikki tarvittavat välineet: laitteet, laboratoriot, menetelmät, kokemus ja näkemys. Viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana keskeisimmät tutkimusalueet ovat olleet transuraanialkuaineiden (Pu, Am, Cm, Np) ja luonnon radionuklidien (U, Ra, Po, Pb) käyttäytyminen Suomen ympäristössä. HYRL:llä on kokemusta ja valmiuksia myös valmiustoimintaan liittyvän analytiikan kehittämisessä.

Materiaalifysiikassa tutkimuksen painoala on säteilyn ja materian vuorovaikutukset käsitellen sekä ionisäteilyn että sähkömagneettisen säteilyn. Käytettäviä tutkimuslaitteistoja ovat HY:n omat ionikiihdyttimet ja materiaalien karakterisointilaitteistot sekä suuret kansainväliset synkrotronisäteilylähteet. Merkittävä vahvuusalue on laskennallisten menetelmien kehittäminen, käyttö ja hyödyntäminen vuorovaikutusten tutkimuksessa. HY:n ionikiihdyttimien vahvuuksina materiaalien ominaisuuksien muokkaamisessa ja karakterisoinnissa ovat tuotettujen ionien laaja energia-alue (keV – alueelta kymmeneen MeV:hin) ja laaja valikoima; käytännössä kaikkien alkuaineiden atomi – ionisuihkut uraaniin saakka ja lisäksi erilaiset molekyyli- ja klusteri – ionisuihkut ovat käytettävissä. Suomen ainoa kiihdytinpohjainen radiohiilen AMS – mittauslaitteisto on kehitetty HY:ssä. Kansainvälisessä vertailussa se sijoittuu Euroopan parhaiden joukkoon, erityisesti suurta tarkkuutta vaativien kiinteiden ja kaasumaisten näytteiden tapauksessa.

Lääketieteellisessä fysiikassa on pitkä yhteistyöperinne STUKin kanssa. Säteihoidon dosimetrian tutkimusyhteistyötä on ohjannut kliininen tarve. Viime vuosien aikana toteutuneita tutkimusyhteistyön tuloksena syntyneitä projekteja ovat olleet säteihoidon laadunvalvonnan riskianalyysi-pohjainen lähestymistapa työmäärän ja testien valinnan ja frekvenssin optimoinnissa sekä edelleen jatkuvat intensiteettimuokatun säteihoidon ja pienten (< 2x2 cm²) kenttien dosimetriaan liittyvät hankkeet. Nämä hankkeet on tehty yhteistyössä Säteilyturvallisuuden valvonta -osaston kanssa.

Hyks:n/HUS:n diagnostisen radiologian dosimetrian ja optimoinnin tutkimusyhteistyö on ollut vireää ja kattaa kaikki diagnostiset röntgenmodaliteetit. Viimeaikainen tutkimus sisältää mm. tietokonetomografian kokeellista ja laskennallista dosimetriaa, optimointiin liittyvää kuvanlaatumäärittystä, uusien ja kehittyvien kartiokeilatietokonetomografiamenetelmien antropomorfista dosimetriaa ja mammografian rauhaskudosannokseen ja sirontaan liittyvää dosimetrista tutkimusta.

Uudet hoitomenetelmät ja niiden dosimetriset sovellukset vaativat jatkossa niin ikään panostusta sekä kokeelliseen ja laskennalliseen dosimetriaan. Alfa ja beeta – emitterien käyttö molekylaarisessa terapiassa tuovat uudenlaisia tieteellisiä haasteita potilaskoh-

S. Salomaa, M. Muikku, K. Peräjärvi, T. Siiskonen 30.6.2015

taisten annosten laskemiseen. Niin ikään protoni ja/tai BNCT hoidot edellyttävät jatkuvaa dosimetrista tutkimustyötä. Soluntason dosimetriaa isotooppilääketieteessä on tutkittu laskennallisesti käyttäen hyväksi Monte Carlo -simulaatioita ja konvoluutioon perustavia nopeita numeerisia menetelmiä. Kiinnostuksen kohteena on erityisesti se, miten aktiivisuuden epähomogeeninen jakautuminen solutasolla vaikuttaa solujen saamaan säteilyannokseen ja mikä on kudoksen rakenteen vaikutus, kun mallintamisessa käytetään todellista kudostietoa. Fysiikan tutkimuslaitos (HIP) on juuri aloittanut STUKin aloitteesta laaditun FiDiPro – ohjelman, jossa kehitetään mittausteknologioita säteily- ja ydinturvallisuuden tarpeisiin.

Itä-Suomen yliopisto

Itä-Suomen yliopiston profiilissa ja tutkimuksen painopisteissä erityisesti ympäristöterveyteen liittyvä tutkimus ja translationaalinen syöpätutkimus ovat keskeisiä yhteistyöalueita. Yliopistolla on laaja kokemus säteilyyn liittyvästä ympäristötutkimuksesta ja säteilyn terveysvaikutusten tutkimuksesta sekä yhteistyöstä STUK:n kanssa. Ionisoivaan säteilyyn liittyvä tutkimus käynnistyi Tšernobylin onnettomuuden jälkeen, ja myös ionisoimattoman säteilyn tutkimus alkoi 1980-luvulla. Ionisoimattoman säteilyn (erityisesti sähkömagneettisten kenttien) terveysvaikutuksia tutkitaan käyttäen kaikkia ympäristöterveystutkimuksen lähestymistapoja solutason tutkimuksesta epidemiologiaan ja altistumisen arviointiin, ja tällä alueella Itä-Suomen yliopisto on saavuttanut aseman yhtenä maailman johtavista tutkimusyksiköistä. Ionisoivaa säteilyä koskeva tutkimus on fokusoitunut erityisesti säteilybiologian solutason ilmiöihin (genomin epävakaisuus, epigenetiikka) ja radioekologiaan. Yliopistossa on tällä hetkellä ainoa säteilybiologista tutkimusta tekevä laboratorio Suomessa. Merkittävä kehitysaskel on 2015 toimintansa aloittava uusi Säteilybiologian tutkimusyksikkö yhteistyössä Kuopion yliopistollisen sairaalan Syöpäkeskuksen kanssa. Yksikkö tutkii sekä ionisoivaa että ionisoimatonta säteilyä, ja sen perusajatuksena on yhdistää säteilybiologisen tutkimuksen voimavarat niin että ne palvelevat sekä ympäristöterveyteen että sädehoitoon liittyvää säteilybiologisen tiedon tarvetta. Syöpäkeskuksen uusiin tiloihin sijoittuva laboratorio sisältää mm. tutkimuskäyttöön varatun lineaarikiihdyttimen ja solubiologisen laboratorion. Radioekologiassa yliopiston tähänastinen tutkimus on keskittynyt radionuklidien siirtymiseen maaperästä kasveihin ja eläimiin. Tämä perinne ja vahva säteilybiologinen osaaminen antavat edellytykset myös eliökunnan säteilysuojeluun tähtäävään säteilybiologiseen tutkimukseen.

Itä-Suomen yliopiston fysiikan tutkimuksesta merkittävä osa suuntautuu lääketieteelliseen fysiikkaan, ja yliopisto onkin yksi Suomen aktiivisimpia sairaalafysiikkien peruskouluttaja. Säteilyfysiikan alalla tutkimus kohdistuu sädehoidon, isotooppi- ja röntgenkuvantamisen kokeellisiin, laskennallisiin ja teoreettisiin sovellutuksiin, etenkin syöpätautien ja tuki- ja liikuntaelinsairauksien alalla.

Jyväskylän yliopisto

Luonnon perusilmiöt ja aineen rakenne (ydin- ja kiihdytinpohjainen fysiikka) on Jyväskylän yliopiston strategiassa tutkimuksen painopiste. Fysiikan laitoksen Kiihdytinlaboratorio on merkittävä kansallinen ja kansainvälinen infrastruktuuri. Jyväskylän yliopiston kanssa STUKilla on ollut erittäin tiivistä yhteistyötä, mikä on poikanut useita perustutkimuksen sovelluksia. Kiihdytinlaboratorion lisäksi fysiikan laitokselta löytyy mm.

S. Salomaa, M. Muikku, K. Peräjärvi, T. Siiskonen 30.6.2015

nanotomografialaboratorio ja ALD (Atomic Layer Deposit) laitteisto sekä vuonna 2016 aloittava HIM (Helium Ion Microscope) laitteisto. Fysiikan laitoksen laitekanta ja osaa-mispotentialiaali tarjoaa hyvin laajat mahdollisuudet mittausteknologioiden kehittämiseen ja testaamiseen.

Jyväskylän yliopiston viestintätieteiden laitoksella tehtävä aineettomien pääomien ja teema-areena tutkimus sekä riski- ja kriisiviestinnän tutkimus ovat keskeistä viestintä-osaamista STUKin kannalta. Viestintätieteiden laitoksen tutkimusprofiilissa korostuvat dynaamiset sidosryhmäsuhteet, joiden ymmärtämisen kautta voidaan vaikuttaa sekä turvallisuuteen että ennakoitiin. Riskiarvioinneissa ja kriisitilanteissa viestintä ohjaa koko tilanteen joko eskaloitumista tai rauhoittumista, ja mielikuvilla ja odotuksilla on keskeinen rooli säteilyyn liittyvissä kriisi- ja riskitilanteissa. Jyväskylän yliopistossa viestintätieteiden laitoksella on tehty useita säteilyyn ja kriisiviestintään liittyviä FP7 puiteohjelman tutkimusohjelmia (Prof. Marita Vosin johtama Public Empowerment Policies in Crisis Management (PEP) 2012 - 2014 sekä Participating team in EU-funded international research project CATO on crisis communication in terrorism-related CBRN crises 2012 – 2014) ja lisäksi meneillään on läpinäkyvyyteen ja odotuksiin liittyviä tutkimuksia (Prof. Luoma-ahon Transparency of New Forms of Media Advertising Online, HS-Foundation & Tekesprojekti negatiivisten sidosryhmäkokemuksien suhteen). Kokonaisymmäryksen mahdollistava teema-areena tutkimus on kohdistunut alun perin juuri ydinvoiman teemoihin, ja Jyväskylän yliopiston tutkimuksessa laajemminkin korostuu turvallisuuden teemat.

Jyväskylän yliopiston Tietotekniikan laitoksella on sähkömagneettisten kenttien laskennalliseen dosimetriaan liittyvää menetelmäosaamista. Tutkimus painottuu tieteelliseen laskentaan ja optimointiin. Erityisosaamista on myös numeerisen matematiikan teorias- ja laskennallisen sähkömagneetiikan eri sovellusalueilla hyödynnettävissä tietokonesimuloinneissa tarvittavien tehokkaiden numeeristen menetelmien kehittämisessä. Samoin kokemusta on antennien muodon optimointiin liittyvien tekniikoiden kehittämisessä. Kaiken kaikkiaan laitoksella on vankka kokemus luonnontieteellisestä tutkimuksesta yhteistyössä teollisuuden ja elinkeinoelämän kanssa. Tietotekniikan laitoksella on myös monipuolista ja vahvaa turvallisuusalan osaamista, tutkimusta ja tuotekehitystä. Vahvinta turvallisuusalan tutkimus on informaatio- ja kyberturvallisuuden alalla, jossa Jyväskylä mm koordinoi Työ- ja elinkeinoministeriön käynnistämää valtakunnallista kyberturvallisuuden Innovatiiviset kaupungit INKA-tutkimus- ja kehittämisohjelmaa vuosina 2014–2020. Yksi osa-alue kyberturvallisuudessa on mm kriittisten infrastruktuurien mukaan lukien radioaktiivisia aineita käsittelevien kohteiden sekä niitä koskevan tietoliikenteen ja tietoaaineistojen kybersuojaus. Turvallisuusalan tutkimusta ja menetelmäkehitystä tehdään myös mm. kriisinhallinnan ja kriisiviestinnän, command and control C2-, mobiilihälytys- ja tilannekuvajärjestelmien, hyperspektraalisten CBRNE-aineiden detektointi- ja kontaminaation määrittelymentelmien sekä henki-, väkivalta-, terrorismi- ja joukkotuhotyyppisten rikosten rikospaikkatutkimusmenetelmien aihealueella. Näissä tutkimus- ja kehittämissyöitä tehdään yhteistyössä mm. poliisin, pelastuslaitosten ja puolustusvoimien kanssa ja erityisosaamista laitoksella on sekä laboratoriotutkimusmenetelmien että käsikäyttöisten ja etäohjattujen ilmakuvantamismenetelmien kehittämisestä ja testaamisesta. Aiheesta on käynnisteillä mm. Euroopan komission rahoittama 12 miljoonan euron suurhanke vuosille 2015–2019, jossa Tietotekniikan laitos on mukana vastaten CBRNE-kohteiden hyperspektrimittauksen kehittämisestä koko hankkeen osalta.

S. Salomaa, M. Muikku, K. Peräjärvi, T. Siiskonen 30.6.2015

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Lappeenrannan teknillisen yliopiston (LUT) profiilissa korostuu ydintekniikan ja ydinturvallisuuden tutkimus. Lappeenrannassa on merkittäviä ydintekniikan infrastruktuureja ja onnettomuuksien riskeihin liittyvää ilmiötutkimusta, sekä kokeellista että laskennallista. Säteilyturvallisuuden puolella LUTilla on valmiuksia tutkia valmiustilanteisiin liittyviä ilmiöitä laitoksella, liittyen erityisesti suomalaisten ja Suomen lähialueiden voimalaitosten onnettomuustilanteiden kehittymisen ja siten päästön riippumattomaan ennakkointiin; LUTilla on myös hyvät edellytykset tehdä urauurtavaa tutkimusta 3S-aihepiiristä (Safety, Security, Safeguards).

Oulun yliopisto

Oulun yliopiston profiilissa ja tutkimuksen painopisteissä informaatioteknologia sekä ympäristö, luonnonvarat ja materiaalit tarjoavat mahdollisuuksia yhteistyöhön, erityisesti Thule-instituutin kiinteä yhteistyö sektoritutkimuslaitosten kanssa Ympäristötietotalossa. Robotiikan tutkimus, kaivosten ympäristökysymykset sekä Barentsin alueen verkostot ympäristö-, turvallisuus- ja terveystutkimuksen alueella antavat myös hyvät mahdollisuudet yhteistyöhön.

Tampereen yliopisto

Tampereen yliopiston strategiset painopistealueet ovat terveyden ja yhteiskunnan tutkimus. Terveystieteiden yksikössä (HES) yksi painopistealue on syöpäepidemiologia ja sen sisällä säteilyn terveysvaikutukset ovat tärkeä aihepiiri. Väestötason tutkimus säteilyn terveysvaikutuksista on ollut laajamittaista ja korkeatasoista. Se on kattanut sekä ionisoivan säteilyn että ionisoimattoman säteilyn terveysriskien arviointia, sekä ympäristöperäistä, ammatillista ja lääketieteellistä säteilyn käyttöä. Aihepiiri on sisältänyt sekä syöpävaaraa että muita terveysvaikutuksia koskevaa tutkimusta ja tuottanut noin viisi tieteellistä artikkelia vuosittain. Terveystieteiden yksikössä tehtävän tutkimuksen arvostuksesta ja näkyvyydestä kertovat myös lukuisat kansainväliset yhteistutkimukset ja kansainväliset asiantuntijatehtävät. STUKin kanssa tehtävän yhteistyön yksi tärkeä pilari on sivutoiminen tutkijaprofessorin toimi. TaY on rekrytoinut opinnäytetöiden tekijöitä ja aihepiiristä on valmistunut useita opinnäytetöitä, mm. neljä väitöskirjaa viimeisen viiden vuoden kuluessa.

Lääketieteen yksikössä (MED) säteilyn terveysvaikutuksia on tutkittu erityisesti syöpätautien alalla. Mielenkiinnon kohteena ovat olleet sädehoidon myöhäisvaikutukset, mm. sekundaarisyövän riski ja sydänvaikutukset. Myös dosimetria ja sädehoidon annossuunnittelu ovat tutkimus- ja kehitystyön kohteena. Kilpirauhasen radiojodihoidon myöhäisvaikutuksia on sisätautien alalla.

Tampereen teknillinen yliopisto

Tampereen teknillisen yliopiston profiilissa ja tutkimuksen painopisteissä nousevat esille erityisesti optiikka ja fotonikka (yhteistyötä uudenlaisten säteilyn havainnointimenetelmien kehittämisessä) sekä rakennettu ympäristö (radonturvallinen rakentaminen). TTY:llä on vahva yhteiskunnallinen ja tutkimuksellinen rooli sähköjärjestelmän pientaa-

S. Salomaa, M. Muikku, K. Peräjärvi, T. Siiskonen 30.6.2015

juiisiin sähkö- ja magneettikenttiin liittyvässä tutkimustoiminnassa. STUK on tehnyt yhteistyötä TTY:n rakennusfysiikan kanssa rakennusten ilmatiiviyteen liittyvissä asioissa. Energiatehokas rakentaminen vaikuttaa rakenteiden yli vallitseviin paine-eroihin mm. vaipan ilmanpitävyyden ja ilmanvaihdon toiminnan muutoksien seurauksena korostaen tutkimustarvetta radonin osalta myös jatkossa.

Turun yliopisto

Valtakunnallinen PET-keskus Turussa on kansallisesti ja kansainvälisesti merkittävä tutkimusympäristö. PET-keskus koostuu Turun Yliopiston, Åbo Akademin ja Varsinais-Suomen sairaanhoitopiirin yksiköistä, ja siellä tehdään mm. lääkeainetutkimusta eläinmalleilla ja uusien radiolääkeaineiden kehitystyötä lääketeollisuuden kanssa sekä laitekehitystyötä koti- ja ulkomaisten laitevalmistajien kanssa. Tutkimustyön yhtenä osana on usein mukana säteily; uuden merkkiaineen biodistribuuutio ja sitä kautta dosimetria, tutkimusprotokollien optimointi (TT annos, PET annos) tai vaikka työntekijöiden säteilyrasituksen minimointi. Lisäksi PET-menetelmää sinällään on hyödynnetty mm. selvittäessä, miten matkapuhelinsäteily vaikuttaa aivojen aineenvaihduntaan ja kognitioon.

S. Salomaa, M. Muikku, K. Peräjärvi, T. Siiskonen 30.6.2015

5 Säteilyturvallisuustutkimuksen rahoitus

Säteilyturvallisuustutkimuksen uudelleen järjestely edellyttää ohjelmaluonteista rahoitusta, jolla pystytään turvaamaan pitkäjänteinen osaamisen ylläpito ja kehittäminen monitieteisellä, koko yhteiskuntaa palvelevalla tutkimussaralla. Tutkimuslaitosuudistuksen yhteydessä perustettu Suomen Akatemian strategisen tutkimuksen rahoitusväline antaa mahdollisuudet ohjelmaluonteiseen ja pitkäjänteiseen tutkimukseen, jossa voidaan hyödyntää yliopistojen osaamispotentiaalia. STN-rahoitusvälineen ohjelmallinen hyödyntäminen edellyttää sitä, että tutkimushakuihin saadaan säteilyturvallisuuteen liittyviä teemoja ja aihepiirejä, kuten turvallisuus, riskiarviointi, riskien hallinta tai uusien teknologioiden hyödyt ja haitat. Yleisempien teemojen alle voi sovittaa yksittäisiin kysymyksiin liittyviä tutkimushankkeita.

STUKin valvontatoimeen ja valmiuteen liittyvää T&K-toimintaa rahoitetaan budjetin kautta mahdollisuuksien mukaan, erityisesti sellaisten kysymysten osalta, joihin ei ole saatavissa ulkopuolista rahoitusta tai joissa tutkimus on syystä tai toisesta tehtävä nimennomaan STUKissa. Kotimaisena yhteistyönä toteutettaviksi sopivat sellaiset tutkimus- ja kehityshankkeet, joita ei voida tehdä maan rajojen ulkopuolella tai joissa on turvattava kansallinen ja paikallinen osaaminen. Suomalaisen ympäristön, väestön ja yhteiskunnan erityispiirteet edellyttävät kansallista tutkimusta ja siinä myös hyödynnetään kansallisia rekisteritietoja. Sosiaali- ja terveysalan asiantuntijalaitosten verkosto (SOTERKO) edistää osaltaan kansallisten tietoaaineistojen yhteiskäyttöä. Pohjoismaisella tasolla NKS-ohjelma rahoittaa erityisesti valmiuteen ja varautumiseen sekä ympäristöön liittyvää tutkimusta, mikä tukee naapurimaiden varautumista säteilyvaaratilanteisiin ja pohjoismaisen ympäristön erityispiirteiden huomioon ottamista.

Säteilyturvallisuuden tutkimus on suhteellisen kapea mutta samalla monitieteinen tutkimusala muissakin Euroopan maissa. Kriittisen massan lisäämiseksi useat Euroopan maat päättivät muutama vuosi sitten yhdistää voimansa tutkimusyhteenliittymien kautta. Säteilyn terveysriskejä tutkiva MELODI, ympäristötutkimuksen Radioecology Alliance, säteily- ja ydinonnettomuuksiin varautumiseen keskittyvä NERIS sekä säteilyn dosimetriaa kehittävä EURADOS ovat säteilysuojelun alalla keskeisiä tutkimusyhteenliittymiä Euroopassa. Näihin verkostoihin kuuluu kansallisia viranomaisia, yliopistoja ja tutkimuslaitoksia ja ne vastaavat oman alansa strategisen tutkimusagendan ja prioriteettien määrittelystä, koulutuksen edistämisestä sekä infrastruktuurien ylläpidosta ja kehittämisestä. Eurooppalaiset tutkimusyhteisöt ovat oleellisen tärkeitä säteilysuojelun tieteellisen osaamispohjan ja säteilyturvallisuustutkimuksen rahoituksen kannalta. Yliopistojen osallistuminen eurooppalaiseen yhteistyöhön vahvistaisi perustutkimuksen hyödyntämistä säteilyturvallisuustutkimuksessa. EU-tutkimukseen osallistumisessa yhtenä rajoituksena on ollut se, että Suomesta konsortioihin halutaan mukaan usein vain yksi organisaatio. Horizon 2020 -ohjelmassa on mahdollista toimia Linked Third Partyina (LTP) suhteessa hankeosapuoleen. Täten yhteenliittymä mahdollistaa usean suomalaisen osapuolen samanaikaisen osallistumisen yhden partnerin kautta.

Euratom -ohjelmassa komissio tähtää nyt kansallisten tutkimusohjelmien integraatioon EU-tasolla luomalla uuden instrumentin (European Joint Program Co-fund Action). Sosiaali- ja terveysministeriö Suomen kansallisen ohjelman omistajana on nimennyt STUKin Suomen edustajaksi ja kansallisen ohjelman hallinnoijaksi (Program Manager). EJP-instrumentissa kansalliset tutkimuspartnerit voivat toimia rahoituksellisesti yhdessä

S. Salomaa, M. Muikku, K. Peräjärvi, T. Siiskonen 30.6.2015

STUKin kanssa (Linked Third Parties). Kaikkiaan 24 maan yhdessä tekemä 20 M€ hanke-esitys (CONCERT) on nyt hyväksytty ja hankkeen odotetaan alkavan kesällä 2015. Ohjelma kattaa vuodet 2015–20. Kansallinen ohjelma on tarpeen yhteisen ohjelmasuunnittelun suunnitelmalliseksi hyödyntämiseksi ja kansallinen vastinrahoitus EU-tutkimuksessa on turvattava, jotta Suomi pysyy mukana eurooppalaisessa tutkimuksessa. Muita merkittäviä EU-rahoituslähteitä ja tutkimusyhteisöjä ovat metrologian tutkimusohjelma (EMPIR), komission turvallisuustutkimusohjelma (Security Research) ja Infrastruktuuriohjelma.

STUKin ja yliopistojen perusrahoituksella tehtävät opiskelijatyöt ovat keskeisiä väyliä asiantuntijauralle suuntautumisessa. Perusrahoitusta on saatavissa yhä vähemmän ja kilpaillun kansallisen ja kansainvälisen rahoituksen merkitys kasvaa. Säteilyturvallisuuden ohjelma sisältää terveyteen, ympäristöön, tekniikkaan ja yhteiskunnalliseen tutkimukseen liittyviä kysymyksiä, joten strategisen tutkimuksen ohella se voisi olla mahdollinen aihealue myös Akatemian ohjelmalla. Tutkimuksen integrointi koulutukseen antaa mahdollisuuksia yliopistojen ja korkeakoulujen ohjelmien kautta tapahtuvaan tukeen. Teknologisessa kehittämistyössä Tekes ja MATINE ovat keskeisiä rahoittajatahoja.

Oma budjettirahoitus on aiemmin mahdollistanut sen, että STUK on melko ketterästi pystynyt vastaamaan muiden viranomaisten ja hallinnonalojen säteilyturvallisuutta koskeviin kansallisiin kehittämistarpeisiin sekä antamaan asiantuntijatukea kansainvälisellä tasolla (mm. IAEA:n ja CTBTO:n tukiohjelmat). Jatkossa tällaisiin tarpeisiin vastaaminen on hyvin vaikeaa ja rahoitusta tulisi osoittaa joko ministeriöiden oman tutkimusrahoituksen tai tutkimuslaitosuudistuksen yhteydessä perustettujen uusien rahoitusvälineiden, Valtioneuvoston kanslian selvitys- ja tutkimustoiminnan ja Suomen Akatemian strategisen tutkimuksen neuvoston kautta.

6 Tiekartta STUKin ja yliopistojen/korkeakoulujen välisen yhteistyön syventämiseksi

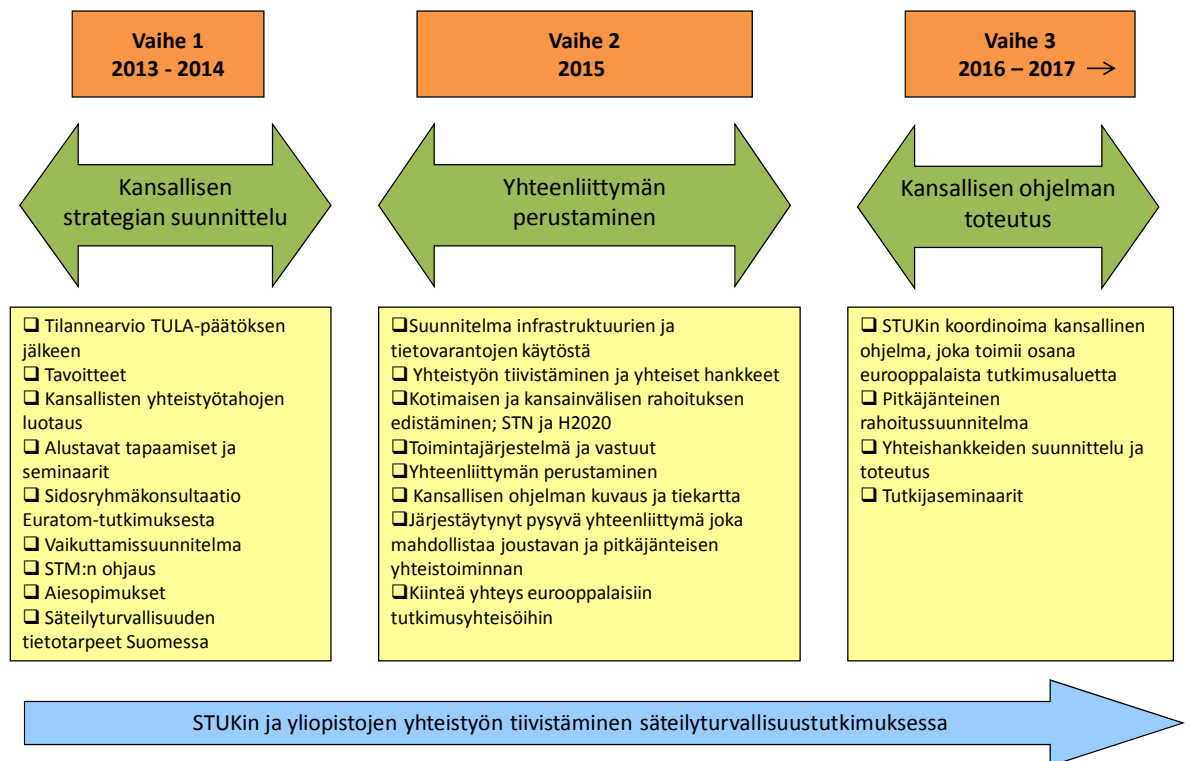
Yhteenliittymän muodostamisessa ja käynnistämisessä edetään vaiheittain (kuva 5.). Opetus- ja kulttuuriministeriön prosessi tutkimuslaitosten ja yliopistojen yhteistyön syventämiseksi kattaa vuodet 2014–2017 ja valtionhallinnon tason ohjauksesta vastaavat OKM ja STM yhdessä. Säteilyturvakeskus on jo ryhtynyt yliopistoyhteistyön tiivistämiseen tähtääviin toimiin. STUK on kartoittanut säteilyturvallisuudessa tarvittavaa tietopohjaa, yliopistojen profiloitumista ja eri yliopistoissa tehtävää säteilytutkimusta ja tutkimusyhteistyötä. Vuosien 2013–2014 aikana STUK on tehnyt aiesopimukset verkostomaisen yhteenliittymän muodostamisesta kaikkiaan seitsemän yliopiston kanssa ja neuvotteluja muiden korkeakoulujen kanssa jatketaan. Yhteenliittymän perustehtävänä on edistää korkeatasoisen säteilyturvallisuustutkimuksen tekemistä ja kansallisen osaamisen pitkäjänteistä kehittämistä sekä luoda mahdollisuudet tutkijoille käytännön tutkimustoimintaan yhteisissä hankkeissa. Tässä raportissa kuvattu kansallisen ohjelman sisällön kuvaus ja sidosryhmien kuuleminen on osa tätä prosessia. Rinnan ohjelman valmistelun kanssa selvitetään infrastruktuurien ja tietovarantojen käyttöä, tiivistetään yhteistyötä ja haetaan rahoitusta yhteishankkeille. Tavoitteena on perustaa yhteenliittymä vuonna 2015. Yhteenliittymän toteuttama säteilyturvallisuuden tutkimusohjelma varmistaa kansallisen osaamisen ja tietopohjan säteilyturvallisuudessa, turvaa kansallisen viranomaisen tietotarpeet ja integroi tutkimuksen koulutukseen ja innovaatiotoimintaan.

S. Salomaa, M. Muikku, K. Peräjärvi, T. Siiskonen 30.6.2015

Vuoropuhelua jatketaan ja pyritään poistamaan yhteistyön esteitä. Tutkijoiden ja laitosten tasolla yliopistojen käytännön odotukset STUKin suuntaan ovat mm. seuraavia:

1. osallistuminen/vaikuttaminen (tavalla tai toisella) rahoituksen hankkimiseen
2. osallistuminen hankkeiden ohjaukseen (sekä hanketasolla että yksittäisten opiskelijoiden tasolla)
3. jonkinasteista panostusta myös hankkeiden toteutukseen
4. koulutukseen liittyvää yhteistyötä (esimerkiksi STUKin toimittama 7-osainen Säteily- ja ydinturvallisuus –kirjasarja on oleellisen tärkeä)

STUKilta toivotaan olennaista roolia, koska sovellusalueen tuntemus on nimenomaan STUKissa. Yliopistot ovat myös kiinnostuneita STUKin omista ja STUKin kautta saatavilla olevista tietoa-aineistoista, joita voi hyödyntää muuhunkin kuin säteilyturvallisuuden tavoitteisiin (big data, data mining).



Kuva 4. Tiekartta STUKin ja yliopistojen välisen yhteistyön syventämiseksi

S. Salomaa, M. Muikku, K. Peräjärvi, T. Siiskonen 30.6.2015

LIITE 1: Kansallisen säteilyturvallisuuustutkimuksen ohjelman valmistelijat ja yliopistojen yhteyshenkilöt

Päävastuu kansallisen säteilyturvallisuuustutkimuksen valmistelusta on ollut Säteilyturvakeskuksella. Kirjoittajaryhmään osallistuivat tutkimusjohtaja Sisko Salomaa, laboratorionjohtaja Teemu Siiskonen, laboratorionjohtaja Maarit Muikku ja laboratorionjohtaja Kari Peräjärvi. Lisäksi lukuisat Säteilyturvakeskuksen asiantuntijat ovat antaneet osaamisensa käyttöön tutkimusohjelman laatimisessa ja kommentoimisessa, mistä heille suuri kiitos.

Haluamme erityisesti kiittää seuraavia yliopistojen yhteyshenkilöitä, jotka ovat osallistuneet ohjelman työstämiseen ja kommentointiin.

Aalto yliopisto

Yli-insinööri Pertti Aarnio, Teknillisen fysiikan laitos
Prof. Kyösti Kontturi, Kemian laitos
DI Lauri Rintala, Teknillisen fysiikan laitos
Prof. Antti Räisänen, Radiotieteen- ja tekniikan laitos
Prof. Rainer Salomaa, Teknillisen fysiikan laitos
Prof. Filip Tuomisto, Teknillisen fysiikan laitos

Helsingin yliopisto ja Helsingin yliopistollinen keskussairaala

Prof. Paula Eerola, Helsingin yliopiston fysiikan tutkimuslaitos (HIP)
Vastuullinen tutkija Jaakko Härkönen, Helsingin yliopiston fysiikan tutkimuslaitos (HIP)
Ylifyysikko Mika Kortenesniemi, Fysiikan laitos / HYKS
Prof. Hannu E. Koskinen, Fysiikan laitos
Prof. Jukka Lehto, Radiokemian laboratorio
Sairaalfysiikka Juha Peltonen, HYKS
FT Olli-Pekka Penttinen, Ympäristötieteiden laitos
Prof. Jyrki Räisänen, Fysiikan laitos
FT Susanna Salminen-Paatero, Radiokemian laboratorio
Prof. Sauli Savolainen, Fysiikan laitos
Ylifyysikko Mikko Tenhunen, HYKS
Dosentti Eija Tuominen, Helsingin yliopiston fysiikan tutkimuslaitos (HIP)
Prof. Juha Äystö, Helsingin yliopiston fysiikan tutkimuslaitos (HIP)

Itä-Suomen yliopisto

Prof. Jukka Juutilainen, Ympäristötieteiden laitos
Dosentti Jonne Naarala, Ympäristötieteiden laitos
Ylifyysikko Jan Seppälä, Kuopion yliopistollinen keskussairaala

Jyväskylän yliopisto

Prof. Paul Greenlees, Fysiikan laitos
Prof. Ari Jokinen, Fysiikan laitos
FT Anna K. Karjalainen, Ympäristötieteiden ja tekniikan osasto
FT Jaana Kuula, Tietotekniikan laitos
Prof. Vilma Luoma-aho, Viestintätieteiden laitos

S. Salomaa, M. Muikku, K. Peräjärvi, T. Siiskonen 30.6.2015

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Prof. Juhani Hyvärinen

Prof. Riitta Kyrki-Rajamäki

Oulun yliopisto

Prof. Arja Rautio, Thule-instituutti

Prof. Juha Röning, Tietotekniikan osasto

Prof. Osmo Tervonen, Radiologian klinikka

Tampereen yliopisto

Prof. Anssi Auvinen, Terveystieteen yksikkö

Prof. Erna Snellman, Lääketieteellinen tiedekunta

Tampereen teknillinen yliopisto

Tutkimuspäällikkö Anu Juslin, Tutkimuksen kehittämispalvelut

Prof. Leena Korpinen, Elektroniikka ja tietoliikennetekniikka

Dosentti Juha Toivonen, Optiikan laboratorio

Prof. Juha Vinha, Rakennustekniikan laitos

Turun yliopisto ja Turun yliopistollinen keskussairaala

Sairaalaafysikko Jukka Järvinen, TYKS

Prof. Eeva Salminen, Sädehoito ja onkologia

Dosentti Mika Teräs, TYKS